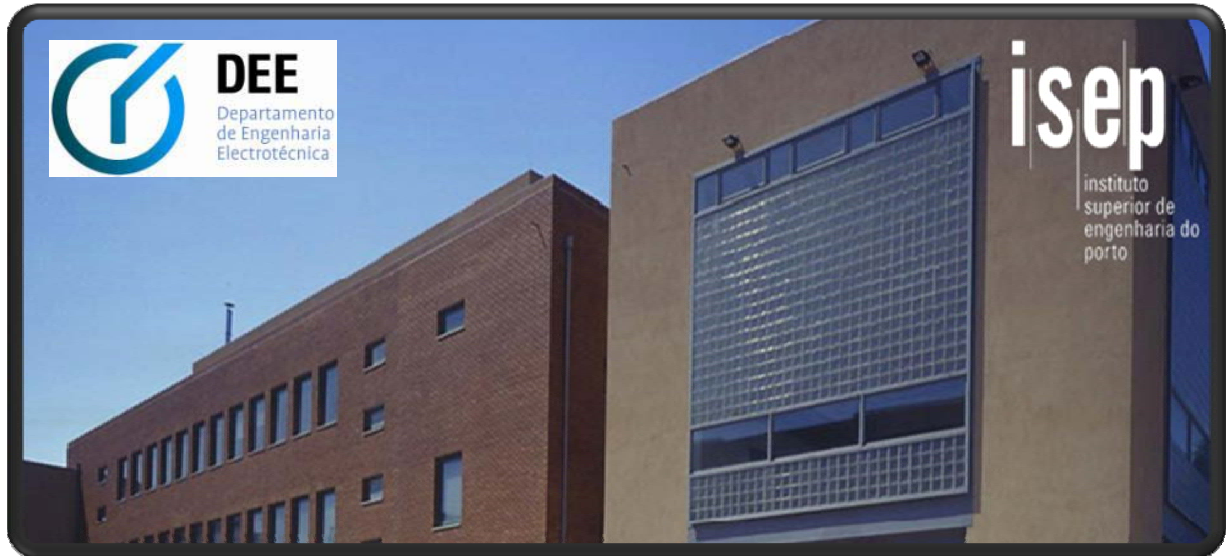


Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Electrotécnica

Mestrado em Engenharia Electrotécnica

Sistemas Eléctricos de Energia



**ESTUDO TÉCNICO RELATIVO À INSTALAÇÃO
DE MICRO EÓLICAS EM EDIFÍCIOS URBANOS
PARA MICROPRODUÇÃO DE ENERGIA
ELÉCTRICA**

Ricardo Jorge Outor Castro Faria

Orientador: Professor Doutor Custódio João Pais Dias

NOVEMBRO 2010

RESUMO:

O Planeta Terra tem vindo a ser fustigado pelas alterações climáticas resultado da poluição ambiental provocada pelo Homem. Com o objectivo de minimizar estes efeitos deletérios, os países mais desenvolvidos estabeleceram compromissos relativamente às emissões de gases com efeito de estufa, tendo por base o Protocolo de Kyoto.

A iniciativa «Renováveis na Hora» é uma das medidas previstas no plano para a política de energia e alterações climáticas, apresentado em Fevereiro de 2008, pelo Ministério da Economia e da Inovação Português.

Actualmente, em Portugal, existe um mercado emergente para a microgeração, que se rege segundo a legislação aplicada recentemente, que estabelece o novo regime jurídico aplicável à produção de energia por intermédio de unidades de microprodução. Esta iniciativa levará à criação de um novo paradigma de exploração e utilização de energia. Deste modo, é fundamental avançar com alguns alertas das condições de exploração.

A energia eólica é umas das fontes renováveis em que o rendimento de conversão pode atingir valores interessantes (poderá ser superior a 50%) e em determinadas regiões o seu potencial é bastante bom, nomeadamente em zonas litorais e em zonas montanhosas. Em ambiente urbano é impraticável a instalação de grandes torres eólicas, mas a micro produção baseada em pequenas turbinas eólicas é perfeitamente possível e desejável.

O propósito deste trabalho é realizar um estudo de cariz técnico acerca da instalação de um mini parque eólico num edifício urbano, tendo em conta todas as condicionantes (velocidade do vento, obstáculos na zona, altura de montagem, inter-distância entre aerogeradores).

Foi realizado um *software* que irá auxiliar a escolha dos aerogeradores e inversores para o tipo de local onde vai ser instalado o parque eólico.

Palavras-chave: microgeração, microgeração eólica, microprodução, mini eólica

ABSTRACT:

The Earth has been fustigated by climate change, which results from the environmental pollution caused by humans. In order to minimize these deleterious effects, the most developed countries have established commitments regarding emissions of greenhouse gases, based on the Kyoto Protocol.

The initiative “Renováveis na Hora”, presented in February 2008 by the Portuguese government is one of the measures envisaged in the plan for the policy on energy and climate change.

Currently, in Portugal, there is an emerging market for micro generation due to the recent law that establishes a legal rule applicable to energy production through micro units. This initiative will lead to the creation of a new paradigm of exploitation and use of energy on distribution network. Therefore, it is essential to do some alerts to the operating conditions.

The wind power is one renewable sources as the conversion efficiency can reach values of interest (may be higher than 50%) in certain regions and its potential is quite good, particularly in coastal and mountainous areas. The urban environment is impractical to install large wind towers, but the micro production based on small wind turbines is quite possible and desirable.

The purpose of this work is a study of a technical nature about installing a mini wind farm in an urban building, taking into account all the conditions (wind speed, obstacles in the area, mounting height, spacing between turbines).

Was developed a software that will help the choice of wind turbines and inverters for the kind of place where you want to install the wind farm.

Keywords: micro generation, small wind turbines, micro production, windturbines,

AGRADECIMENTOS:

Ao meu Orientador o Professor Custódio Dias pelos seus conselhos, e orientações que me transmitiu e que foram essenciais para o sucesso deste trabalho.

Gostaria de agradecer aos meus pais, por todo o amor que sempre me deram, pela educação que me proporcionaram e por me ensinarem que é apenas com todo o meu empenho e dedicação que irei conseguir atingir os meus objectivos.

Aos meus Padrinhos por nunca me terem deixado desistir de terminar este trabalho.

À minha amiga, companheira e namorada, Carla Teixeira. Nestes últimos anos tem sido uma fonte de motivação e uma presença constante na minha vida, em que nos momentos mais delicados demonstrou paciência e compreensão.

Ao meu grande Amigo Hélder Santos, que também esteve comigo na “Luta” para entregar o trabalho a tempo, tenho de agradecer a ajuda oferecida, as palavras de motivação quando os níveis de confiança já estavam muito baixos e as largas horas de companhia na realização deste trabalho.

Ao Nelson Silvestre pela ajuda no desenvolvimento do programa informático.

E queria agradecer a todos os meus amigos que me apoiaram na realização deste trabalho.

ÍNDICE:

RESUMO:.....	ii
ABSTRACT:	iii
AGRADECIMENTOS:	iv
ÍNDICE:.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS:.....	ix
ÍNDICE DE TABELAS:.....	xi
ABREVIATURAS:	xii
CAPITULO 1	14
Introdução.....	14
1.1. Caracterização do problema	14
1.2. Enquadramento do trabalho	17
1.3. Estrutura da tese	19
CAPITULO 2	21
Recurso eólico	21
2.1. Recurso eólico	21
2.1.1. Formação do vento	22
2.1.2. Factores que influenciam a direcção dos ventos.....	24
2.1.3. O Atlas Português de Vento	26
2.2. Tecnologia Eólica	29
2.3. Turbinas.....	33

2.4.	Gerador	39
2.5.	Mecanismo de Controlo.....	44
2.5.1.	Controlo de passo fixo (<i>Stall Control</i>).....	44
2.5.2.	Controlo de passo variável (<i>Pitch Control</i>).....	45
2.6.	Interligação com a rede	47
2.7.	As Micro turbinas Eólicas	47
2.7.1.	Tecnologias eólicas para a microgeração	47
CAPITULO 3		50
Características de instalação		50
3.1.	O potencial eólico em ambiente urbano	50
3.2.	Características especiais do Vento	50
3.2.1.	Obstáculos.....	51
3.2.2.	Efeito esteira	52
3.2.3.	Cisalhamento	53
3.3.	Escolha do local de instalação de um aerogerador	54
3.3.1.	Perfil dos ventos.....	57
3.3.2.	Modelos físicos e modelos numéricos.....	58
3.4.	Componentes de um sistema micro-eólico para ligação á rede	59
3.5.	Dimensionamento tipo para um sistema de produção de energia a partir de mini eólicas com ligação à rede.	65
3.5.1.	Condições Gerais.....	65
3.5.2.	Dimensionamento e selecção da turbina eólica.....	65

3.5.3.	Escolha da turbina eólica	66
3.5.4.	Cálculo da velocidade média do Vento para a altura da instalação.....	68
3.5.5.	Cálculo da potência necessária da turbina	68
3.5.6.	Cálculo da potência produzida anualmente.....	69
3.5.7.	Dimensionamento do Rectificador.....	70
3.5.8.	Dimensionamento do Inversor.....	71
3.5.9.	Dimensionamento de cabos DC e AC	72
3.5.10.	Dimensionamento do interruptor AC de isolamento do aerogerador	77
3.5.11.	Protecção contra descargas atmosféricas nos sistemas ligados à rede eléctrica nacional de BT.....	78
3.5.12.	Ligação à terra dos componentes do sistema de microgeração.....	79
3.5.13.	Ligação à rede pública de BT	80
3.5.14.	Portinhola	81
3.5.15.	Contador de Energia.....	83
CAPITULO 4		86
<i>Software</i> de aplicação.....		86
3.1.	Dados contratuais	87
3.2.	Dados do local da instalação	87
3.3.	Características da eólica.....	87
CAPITULO 5		89
Conclusão.....		89
refêrências bibliograficas e outras		92

ANEXOS	96
Anexo 1 - Dimensionamento de uma instalação de produção de energia a partir de mini eólicas com ligação á rede	96
Anexo 2 - Características técnicas de alguns micro-aerogeradores existentes no mercado	105

ÍNDICE DE FIGURAS:

Figura 1 - Evolução da capacidade instalada para a MG, até 5,75 kW	18
Figura 2 - Formação dos ventos causado pelas deslocções de massas de ar	23
Figura 3 - Comportamento do vento sob a influência das características do terreno	26
Figura 4 - Atlas Português do vento.....	27
Figura 5 - Energia eléctrica em função da velocidade angular de um aerogerador;	30
Figura 6 - Potência produzida em função da Área de varrimento da turbina	32
Figura 7 - Turbinas de eixo vertical	36
Figura 8 - Tipos de Geradores de micro eólicas	40
Figura 9 - Escoamento na zona envolvente de um obstáculo.....	51
Figura 10- Efeito de esteira.....	52
Figura 11- Colocação das turbinas num parque eólico.....	53
Figura 12 - Turbulência causada pelo vento quando bate no edifício	55
Figura 13 - Sensor de direcção e anemómetro de copos	55
Figura 14 - Anemómetro Sónico	56
Figura 15 - Rosa dos Ventos da cidade do Porto.....	57
Figura 16 - Esquema Unifilar de uma instalação de microgeração liga á rede	59
Figura 17 - Ligação de um aerogerador a um rectificador trifásico de ponte completa	61
Figura 18 - selecção do tipo de turbina eólica, em função da velocidade média do vento e da estabilidade direcciona.....	67
Figura 19 - Curva da característica Potencia vs Velocidade do vento do aerogerador Bornay 1500.....	67
Figura 20 – Esquema de ligação à terra da torre do aerogerador.	80
Figura 21 – Ligação à RESP de uma unidade de consumo de uma instalação nova	81
Figura 22 - Ligação à RESP de uma unidade de consumo de uma instalação existente....	82

Figura 23 - Ligação à RESP de uma unidade de consumo de uma instalação existente....	83
Figura 24 - Modem GSM MAESTRO	84
Figura 25 - Fonte de alimentação externa	84
Figura 26 - Antena externa.....	84
Figura 27 – Layout do programa.	86
Figura 28 – Curva da característica do aerogerador	97
Figura 29 - Interruptor de circuito de sobrecarga de 16A.....	102
Figura 30 - Tipo de cabo DC a utilizar entre o rectificador e o inversor	103

ÍNDICE DE TABELAS:

Tabela 1 - Subclassificação de pequenas turbinas eólicas.....	48
Tabela 2 – Dimensões mínimas da portinhola	64
Tabela 3 - Propriedades dos cabos DC	74
Tabela 4 - Resumo de características da energia eólica	90

ABREVIATURAS:

AT – Alta Tensão

MG – Microgeração

BT – Baixa Tensão

rpm - rotações por minuto

PMSG - Permanent Magnet Synchronous Generator

ME - micro-eólicas

DGEG - Direcção-Geral de Energia e Geologia

DL - Decreto-Lei

C_p - Coeficiente de Potência

CFD - Computacional Fluid Dynamic

CA – Corrente Alternada

CC – Corrente Continua

IP – Índice de Protecção

CAPITULO 1

Introdução

1.1. Caracterização do problema

Nos dias de hoje, não há nenhuma política económica séria que não atenda à questão das alterações climáticas provocadas pelo efeito de estufa criado por emissões excessivas de dióxido de carbono. O mesmo se aplica, por maioria de razão, à política de energia. Acabou definitivamente o tempo em que se pensava que o equilíbrio ambiental era contraditório com uma estratégia de crescimento da economia (MEI, 2007).

A política europeia de energia aponta como prioridades a criação de mercados competitivos e a necessidade de redução de emissões de CO₂ (MEI, 2007).

Portugal é um país com escassos recursos energéticos não renováveis, aqueles que asseguram a generalidade das necessidades energéticas da maioria dos países desenvolvidos, como o petróleo, o carvão e o gás. Tal situação de carência conduz a uma elevada dependência energética do exterior (87,2% da energia consumida em Portugal em 2005 foi proveniente do estrangeiro). Totalmente dependente das importações de fontes primárias de origem fóssil, importa urgentemente ampliar a contribuição das energias hídrica, eólica, solar, geotérmica, biogás, de lenhas e resíduos. Portugal está assim perante uma reduzida variedade da oferta energética primária, que aliada à escassez de recursos próprios, conduz a uma maior vulnerabilidade do sistema energético às flutuações dos preços internacionais, (por exemplo, o preço do petróleo), exigindo esforços no sentido de aumentar a diversificação (DGEG, 2008)

O aproveitamento dos recursos renováveis é também um factor importante na explicação do forte crescimento da produção descentralizada, como Portugal é rico nestes

recursos, faz sentido explorá-los, para reduzir a dependência energética, conduzindo deste modo à sustentabilidade energética do nosso país (DGEG, 2008).

Este tipo de aproveitamento pode reduzir substancialmente as emissões de carbono, contribuindo assim para os compromissos dos países mais desenvolvidos, para satisfazer as suas metas relativas às emissões de gases com efeito de estufa, tendo por base o Protocolo de Kyoto.

Neste momento, em Portugal, existe um mercado emergente para a MG, segundo a legislação aplicada recentemente, através do Decreto-Lei 363/2007 de 2 de Novembro, que estabelece o regime jurídico aplicável à produção de energia por intermédio de unidades de microprodução, também designado por “Renováveis na Hora”.

A iniciativa “Renováveis na Hora” é uma das medidas previstas no plano para a política de energia e alterações climáticas, apresentado em Fevereiro de 2008 pelo Ministério da Economia e da Inovação português. O objectivo é promover a instalação de 50 mil sistemas fotovoltaicos ou mini-eólicos até 2010, com um especial incentivo à instalação de colectores solares para aquecimento de água em habitações (MEI, 2007) Este novo conceito de consumidor (empresa ou particular) poderá utilizar equipamentos de pequena escala para produção de energia, e poderão ter acesso a dois regimes distintos de remuneração: regime geral ou regime bonificado.

A energia eléctrica é maioritariamente produzida em centrais eléctricas de grande porte, afastadas dos grandes centros de consumo situados tipicamente em zonas urbanas ou industriais (Sucena Paiva, 2007).

A produção distribuída ou microgeração é a geração de energia pelo próprio consumidor sendo este uma empresa ou particular, através do uso de equipamentos de pequena escala, nomeadamente painéis solares, mini-eólicas, micro-turbinas ou outra tecnologia (EDP Energias de Portugal, 2009).

Este tipo de produção descentralizada constitui uma alternativa às grandes centrais, bem como às redes de distribuição AT. As novas tecnologias existentes produzem electricidade de elevada qualidade e de forma eficiente. O facto de a produção ser no local de consumo, as perdas por transporte são eliminadas, bem como os custos inerentes ao transporte. Existe ainda a possibilidade de aproveitar o calor que é libertado por alguns equipamentos, fazendo uma gestão mais eficiente dos recursos energéticos.

Este fenómeno da MG levará à criação de novos paradigmas da exploração das redes de distribuição de Baixa Tensão. Este recente conceito terá as seguintes vantagens de acordo com (Saraiva, Lopes, Hatziargyriou, & Jenkins, 2003):

Em relação ao ambiente;

- ↳ Redução das emissões de gases, e consequentemente, uma atenuação nas mudanças climáticas;
- ↳ Maior sensibilização dos consumidores para a energia;
- ↳ Sistema de produção de energia de menor porte relativamente aos tradicionais grandes centrais hídricas e termoeléctricas

Em relação ao sistema eléctrico de energia:

- ↳ Redução da distância entre a produção e os centros de consumo;
- ↳ Redução de perdas nas redes a montante;
- ↳ Redução ou adiamento de investimentos em transmissão e produção em grande escala

Em relação à qualidade de serviço:

- ↳ Aumento da qualidade de serviço;
- ↳ Atenuação do impacto de falhas na distribuição e transmissão.

Em relação ao mercado:

- ↳ Possível desenvolvimento de novas abordagens de mercado;

- ↳ Eventual redução do poder de mercado das grandes empresas;
- ↳ Possível contribuição para a redução dos preços de electricidade, já que as redes de transporte e distribuição são usadas de forma menos intensiva

O novo enquadramento legal da microgeração presente no Decreto-Lei 363/2007 permite a injeção total da energia produzida na rede dentro de um limite estipulado, resultando assim uma redução na factura do produtor. Este enquadramento apresenta benefícios económicos, de modo a incentivar os possuidores de ligação BT a tornarem-se micro-produtores, sobrepondo-se assim ao anterior Decreto-Lei 68/2002 que não satisfazia critérios de rentabilidade para os pequenos produtores.

1.2. Enquadramento do trabalho

Sendo as energias renováveis e em particular a microgeração um tema extremamente actual e pertinente, serve o presente documento de guia à instalação de um sistema eólico em ambiente urbano.

Ao longo deste documento é apresentada informação acerca deste aproveitamento eólico, os procedimentos a ter em conta para tirar melhor partido da instalação e uma previsão da energia produzida e quais os tipos de equipamentos que são necessários para realizar essa conversão. O sistema de microprodução considerado foi um sistema de Ligação à rede BT.

A questão ambiental e o aumento gradual dos consumos energéticos são factores condicionantes fundamentais para o desenvolvimento económico e sustentável do nosso país. A procura intensiva de novas alternativas energéticas assume deste modo um papel crucial para satisfazer os requisitos energéticos e ambientais.

De acordo com Ministério da Economia e da Inovação, nos próximos anos, prevê-se uma crescente penetração do fenómeno da microgeração (MG) que poderá alterar profundamente o conceito global de um sistema eléctrico de distribuição de energia até hoje vigente. Na figura 1 é apresentada uma projecção da evolução da capacidade instalada para a MG nos próximos anos.

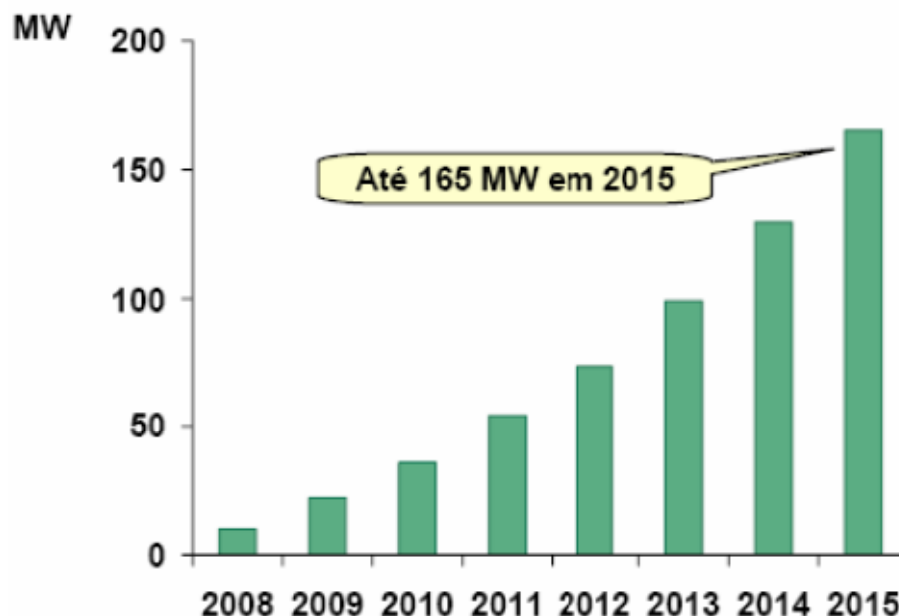


Figura 1 - Evolução da capacidade instalada para a MG, até 5,75 kW (MEI, 2007)

O previsível aumento significativo de sistemas de MG nas redes de distribuição levará à criação de um novo paradigma de exploração e utilização de energia. Deste modo é necessário avançar com alguns alertas e propostas para o melhoramento das condições de exploração.

A tecnologia que foi objecto de estudo neste trabalho foi a microgeração eólica.

Antigamente a ausência de regulamentação para o mercado de micro-turbinas eólicas fez com que o desenvolvimento deste tipo de tecnologia não crescesse tão rapidamente como as turbinas de grande porte. Além disso, a maioria das interfaces de ligação, como rectificadores e inversores, são projectados para utilizar sistemas de produção de energia

fotovoltaica. Com esta nova legislação, segundo as previsões da INTELI (Inteligência em Inovação), prevê-se os seguintes potenciais investimentos associados à MG:

- ✧ Micro-eólica em 100.000 casas até 2020;
- ✧ Solar térmico em 350.000 casas até 2020;
- ✧ Investimento potencial em MG superior 1.200 milhões de euros até 2020 em Portugal;

Portanto, uma revisão das normas mais importantes terá de ser realizada para se poder definir uma ligação à rede que cumpra todos os regulamentos.

1.3. Estrutura da tese

No capítulo 2 efectua-se uma breve descrição do processo de formação do vento. Serão explicados os diferentes tipos de formação do vento. Também é feita uma descrição do princípio de funcionamento e constituição dos principais componentes do sistema produção ME. Foi elaborada uma revisão das tecnologias existentes no mercado e uma descrição dos mecanismos de ligação à rede relativos aos sistemas ME.

No capítulo 3 é feita a referência ao potencial eólico em ambientes urbanos, são referidas as características especiais do vento que deverão ser consideradas quando se pretende instalar um aerogerador, é feita também uma descrição das condições que o local onde vai ser instalado o aerogerador deve ter e também uma descrição dos componentes que constituem uma instalação de um sistema mini-eólico.

No capítulo 4 descreve-se brevemente o software desenvolvido para ajudar a escolher o aerogerador mais adequado para o local de instalação.

No capítulo 5 estão expostas as conclusões retiradas do trabalho

CAPITULO 2

Recurso eólico

Este capítulo apresenta o processo de formação do vento. Serão explicados os diferentes tipos de formação do vento.

O vento não mais é do que ar em movimento, ou seja, é um movimento aleatório de cada molécula que forma o ar, porém a uma escala que compreende uma parte da atmosfera.

O Movimento é causado pelas diferenças de pressão atmosférica entre duas regiões, em que o mesmo sofre influência do relevo, da proximidade com o mar, com a rugosidade do terreno e da temperatura do local.

2.1. Recurso eólico

O vento e a água, em conjunto com os seres humanos e animais, foram as maiores fontes de energia de toda a história conhecida até há um par de séculos atrás. No séc. XVIII julga-se que só a Grã-Bretanha teria cerca de 10.000 moinhos de vento e, curiosamente, estas máquinas movidas a vento não desapareceram com a Revolução Industrial (RAMPAGE, 2003).

A ideia da utilização destas máquinas movidas a vento para gerar energia não é nova, mas a partir de 1980 a energia produzida pelo vento tem vindo a aumentar gradualmente. A energia produzida por cada unidade aerogeradora não aumentou muito nos últimos anos, mas o número de unidades aumentou 100 vezes em pouco mais de uma década. Presentemente, existem grandes aerogeradores com uma potência superior a 1 MW e há também um mercado especializado em micro sistemas com potências a partir de 100 W (RAMPAGE, 2003).

A forma esférica e os movimentos de rotação da Terra, o aquecimento das massas de ar pelo Sol, e as flutuações sazonais e regionais da irradiação da energia solar causam diferentes pressões atmosféricas, que são responsáveis pelos movimentos de ar. As características do movimento de grandes massas de ar são afectadas pela rugosidade do terreno, por grandes massas de água e pela vegetação terrestre (QUASCHNING, 2005).

2.1.1. Formação do vento

A energia eólica pode ser considerada como uma das formas em que se manifesta a energia proveniente do Sol, isto porque os ventos são originados pelo aquecimento diferenciado da atmosfera. Essa não uniformidade no aquecimento da atmosfera deve ser creditada, entre outros factores, à orientação dos raios solares e aos movimentos da Terra (DUTRA, 2007).

As regiões tropicais, que recebem os raios solares quase que perpendicularmente, são mais aquecidas do que as regiões polares. Consequentemente, o ar quente que se encontra nas baixas altitudes das regiões tropicais tende a subir, sendo substituído por uma massa de ar mais frio que se desloca das regiões polares. O deslocamento de massas de ar determina a formação dos ventos (DUTRA, 2007), ver figura 2.

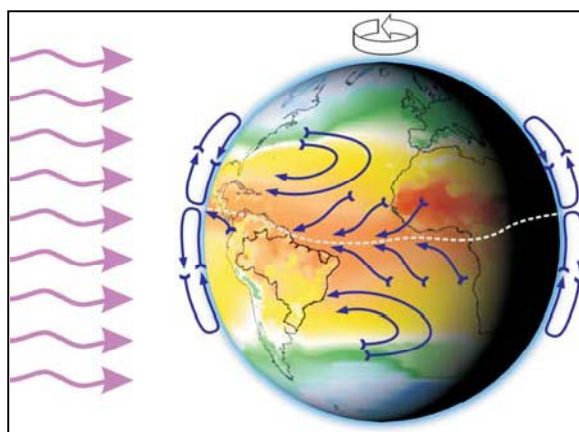


Figura 2 - Formação dos ventos causado pelas deslocções de massas de ar
(fonte: CEPEL, 2001)

Existem locais no globo terrestre nos quais os ventos nunca param de “soprar”, pois os mecanismos que os originam (aquecimento no equador e arrefecimento nos pólos) estão sempre presentes na natureza. São chamados de ventos planetários ou constantes, e podem ser classificados como:

- ↪ Alísios: ventos que sopram dos trópicos para o Equador, em baixas altitudes;
- ↪ Contra: Alísios: ventos que sopram do Equador para os pólos, em altas altitudes;
- ↪ Ventos do Oeste: ventos que sopram dos trópicos para os pólos;
- ↪ Polares: ventos frios que sopram dos pólos para as zonas temperadas;

Estando o eixo da Terra inclinado $23,5^\circ$ em relação ao plano da sua órbita em torno do Sol, variações sazonais na distribuição de radiação recebida na superfície da Terra originam variações sazonais na intensidade e duração dos ventos em qualquer local da superfície terrestre. Como resultado dessa variação aparecem os ventos continentais ou periódicos e compreendem as monções e as brisas (DUTRA, 2007).

As monções são ventos periódicos que mudam de direcção a cada seis meses aproximadamente. Em geral, as monções sopram em determinada direcção numa estação do ano e em sentido contrário na outra estação (DUTRA, 2007).

Em função das diferentes capacidades de reflectir, absorver e emitir o calor recebido do Sol, inerentes a cada tipo de superfície (tais como marés e continentes), surgem as brisas que se caracterizam por serem ventos periódicos que sopram do mar para o continente e vice-versa. No período diurno, devido à maior capacidade da terra de reflectir os raios solares, a temperatura do ar aumenta e, como consequência, forma-se uma corrente de ar que sopra do mar para a terra (brisa marítima). À noite, a temperatura da terra cai mais abruptamente do que a temperatura da água e, assim, ocorre a brisa terrestre que sopra da terra para o mar. Normalmente, a intensidade da brisa terrestre é menor do que a da brisa marítima devido à menor diferença de temperatura que ocorre no período nocturno (DUTRA, 2007).

Sobreposto ao sistema de geração dos ventos descrito acima, encontram-se os ventos locais, que são originados por outros mecanismos mais específicos. São ventos que sopram em determinadas regiões e são resultantes das condições locais, que os tornam bastante individualizados (DUTRA, 2007).

A mais conhecida manifestação local dos ventos é observada nos vales e montanhas. Durante o dia, o ar quente nas encostas da montanha se eleva e o ar mais frio desce sobre o vale para substituir o ar que subiu. No período nocturno, a direcção em que sopram os ventos é novamente revertida, e o ar frio das montanhas desce e acumula-se nos vales (DUTRA, 2007).

2.1.2. Factores que influenciam a direcção dos ventos

O comportamento estatístico do vento ao longo do dia é um factor que é influenciado pela variação de velocidade do vento ao longo do tempo (DUTRA, 2007).

As características topográficas de uma região também influenciam o comportamento dos ventos uma vez que, numa determinada área, podem ocorrer diferenças de velocidade, causando a redução ou aceleração na velocidade do vento. Além das variações topográficas e da rugosidade do solo, a velocidade também varia com a altura (DUTRA, 2007).

Tendo em vista que a velocidade do vento pode variar significativamente em curtas distâncias (algumas centenas de metros), os procedimentos para avaliar o local, no qual se deseja instalar turbinas eólicas, devem levar em consideração todos os parâmetros regionais que influenciam nas condições do vento. Entre os principais factores de influência no regime dos ventos destacam-se:

- ↪ A variação da velocidade com a altura;
- ↪ A rugosidade do terreno, que é caracterizada pela vegetação, utilização da terra e construções;
- ↪ Presença de obstáculos nas redondezas;
- ↪ Relevo que pode causar efeito de aceleração ou desaceleração no escoamento do ar.

As informações necessárias para o levantamento das condições regionais podem ser obtidas a partir de mapas topográficos e de uma visita ao local de interesse para avaliar e modelar a rugosidade e os obstáculos. O uso de imagens aéreas e dados de satélite também contribuem para uma análise mais acurada (DUTRA, 2007).

A figura 3 mostra, de uma forma genérica, como os ventos se comportam quando estão sob a influência das características da superfície do solo (DUTRA, 2007).

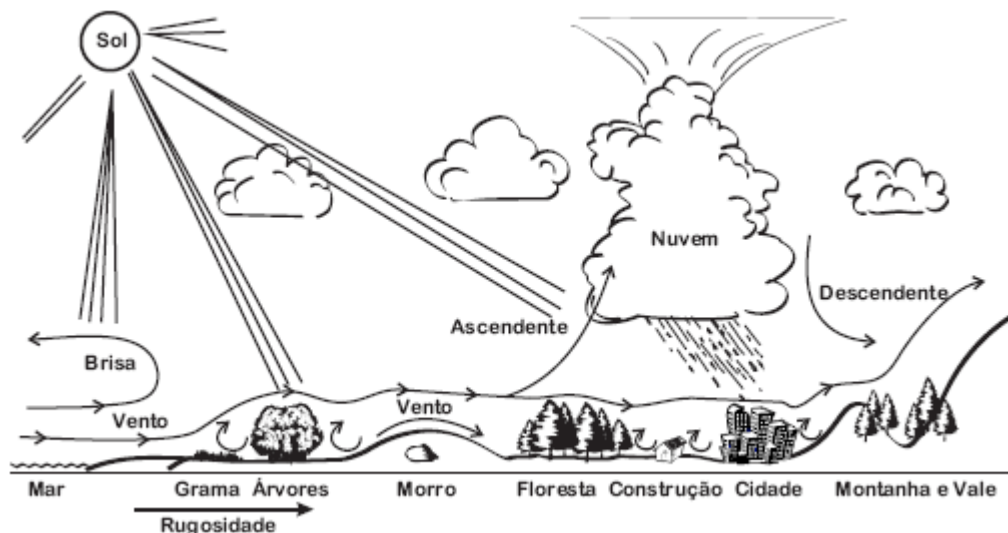


Figura 3 - Comportamento do vento sob a influência das características do terreno
(fonte: *Atlas Eólico do Brasil*, 1998)

2.1.3. O Atlas Português de Vento

Em Portugal, várias instituições, designadamente o INETI – Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação, dedicaram-se também à realização sistemática de medições da velocidade do vento. O INETI tem publicada uma versão muito completa do *Atlas Português de Vento*, de que se apresenta um exemplo na figura 4.

As maiores velocidades médias anuais (6 a 6,5 m/s, a 60 m de altura) encontram-se junto ao litoral oeste, nomeadamente na zona centro, e em certas regiões do interior norte. (Castro, 2009)

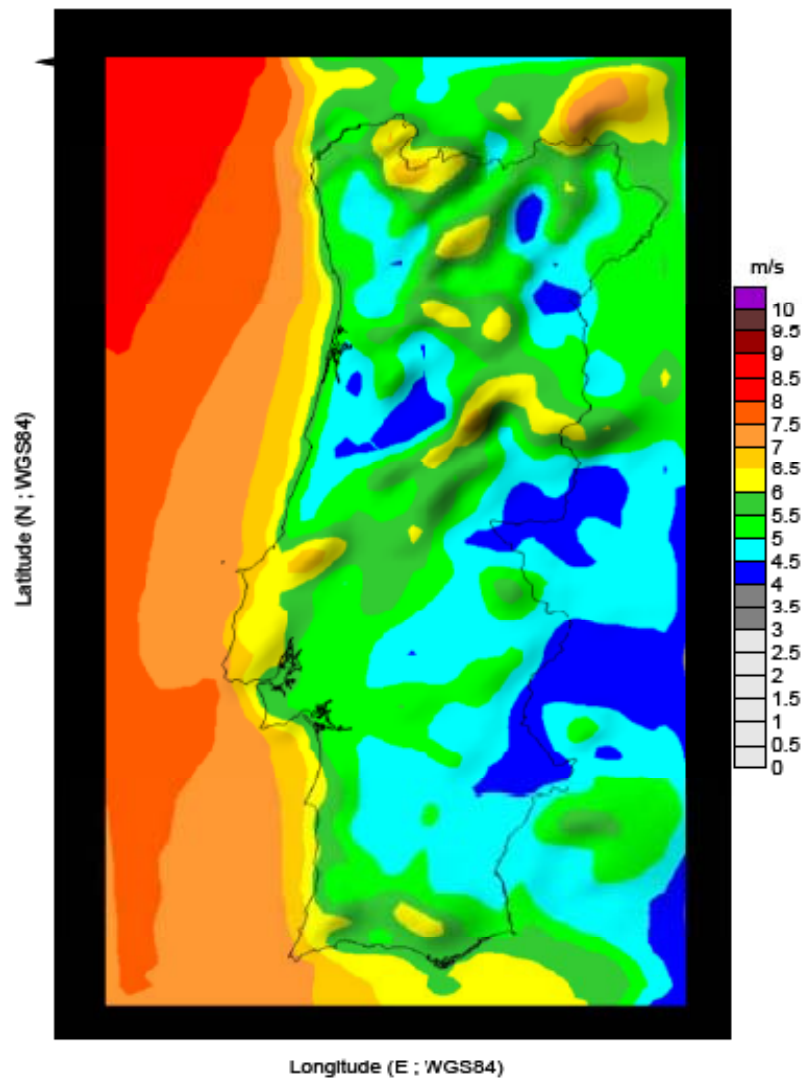


Figura 4 - Atlas Português do vento (COSTA, 2006)

Apresentando o vento um carácter inconsistente ao nível da velocidade e direcção, torna-se complexo caracterizar o potencial eólico em determinado local. Para tal recorre-se a uma variável aleatória representativa da velocidade do vento, com recurso à distribuição de probabilidade.

Foi concluído, através de uma serie de estudos estatísticos envolvendo a velocidade horária do vento, que a distribuição de *Weibull* se apresenta como uma distribuição estatística adequada à distribuição do vento. A velocidade do vento não apresenta uma variação significativa de ano para ano, ao contrário do que se verifica mensalmente.

Assim, para poder caracterizar o recurso o tempo mínimo de medições a considerar deverá ser de um ano.

Convém referir ainda que quanto maior for o tempo de medição do vento, maior será a fiabilidade das previsões.

A expressão matemática da função densidade de probabilidade de Weibull – $f(\bar{u})$ – é:

$$f(\bar{u}) = \frac{k}{c} \times \left(\frac{\bar{u}}{c} \right)^{k-1} e^{-\left[\left(\frac{\bar{u}}{c} \right)^k \right]}$$

Em que: \bar{u} é a velocidade média do vento, c é um parâmetro de escala, com as dimensões de velocidade, e k é um parâmetro de forma, sem dimensões. (Castro, 2009)

A velocidade média anual do vento u_{ma} calcula-se através de:

$$u_{ma} = c \Gamma \left(1 + \frac{1}{k} \right)$$

Nesta equação Γ representa a função GAMA, apresentada a seguir:

$$\Gamma(x) = \int_0^{+\infty} t^{x-1} e^{-t} dt \quad (x > 0)$$

A função de distribuição encontra-se representada seguidamente e caracteriza a probabilidade da velocidade do vento assumir um determinado valor \bar{u}

$$f(\bar{u}) = \int_t^{+\infty} f_w d\bar{u} = e^{-\left(\frac{\bar{u}}{c} \right)^k} \quad (t \geq 0)$$

Quando apenas dispomos do valor da velocidade média anual de um local podemos usar a distribuição de Rayleigh (k=2) para definir a distribuição do vento desse local. (CAMUS, 2007)

$$f(u) = \frac{2}{c} \left(\frac{u}{c} \right) e^{-\left(\frac{u}{c} \right)^2} \quad u \geq 0$$

Sabendo que:

$$u_{ma} = \left(1 + \frac{1}{2}\right) = \frac{\sqrt{\pi}}{2}$$

$$f(u) = \frac{\pi}{2} \times \frac{u}{u_{ma}^2} e^{-\frac{\pi}{4} \left(\frac{u}{u_{ma}}\right)^2} \quad u \geq 0$$

2.2. Tecnologia Eólica

As turbinas eólicas, também conhecidas por aerogeradores, têm por função transformar a energia cinética do vento em energia mecânica e consequentemente em energia eléctrica (CEETA, 2001).

Sendo a energia dada pelo produto da potência pelo tempo, a potência que o vento transfere à turbina pode ser calculada pela seguinte expressão:

$$P = C_p \times A \times \rho \times \frac{v_0^3}{2}$$

Onde:

C_p é o coeficiente de forma da turbina, traduz a quantidade de energia mecânica disponível;

A representa a área de varrimento das pás da turbina, durante o seu movimento de rotação (m²);

v_0^3 representa velocidade instantânea do vento (m/s);

ρ é a densidade do ar do local em causa (Kg/m³).

Esta equação demonstra que a potência disponível é fortemente dependente da velocidade do vento: quando este duplica, a potência aumenta oito vezes, mas duplicando a área varrida pelas pás da turbina, o aumento da potência é só de duas vezes. Por outro

lado, se a velocidade do vento desce para metade, a potência reduz-se a 12,5%. Tudo isto explica a importância crítica da colocação das turbinas em locais com velocidades do vento elevadas no sucesso económico dos projectos de energia eólica. (Castro, 2009)

O binário mecânico induzido nas pás, T , pode ser calculado a partir da potência extraída pela turbina, dividindo esta pela velocidade de rotação:

$$T = \frac{P}{\omega_R}$$

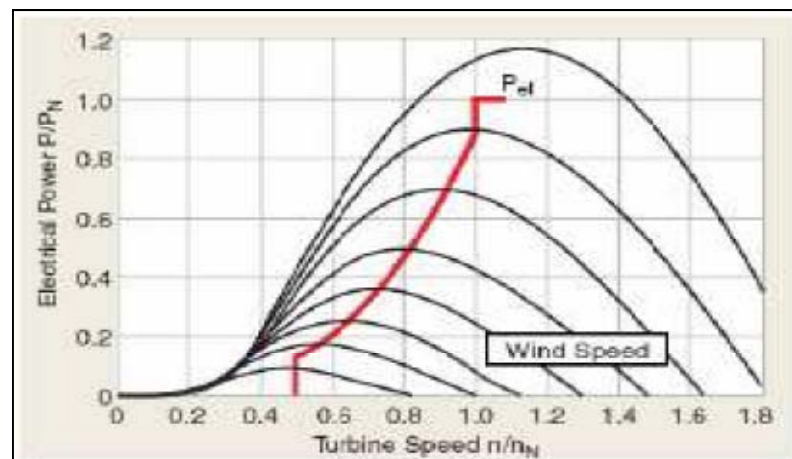
Onde,

ω_R é a velocidade angular do rotor (rad/s);

T é o binário mecânico induzido nas pás (N.m);

P é a potência que o vento transfere á turbina (W).

A Figura 5 apresenta a variação da energia eléctrica em função da velocidade angular do aerogerador para diferentes velocidades do vento. O ponto máximo das curvas é o ponto a partir do qual pode ser extraído a potência máxima para determinada velocidade de vento.



**Figura 5 - Energia eléctrica em função da velocidade angular de um aerogerador;
Diferentes curvas para diferentes velocidades do vento (Muller, 2002)**

Podem ser definidos um coeficiente de potência e um coeficiente de binário para cada turbina eólica proporcionais à energia cinética de massa de ar que flui através do plano do rotor. Para cada rotor o coeficiente de potência, C_p , é determinado pelo desenho das pás.

A potência máxima aproveitável pelo aerogerador corresponde teoricamente a 59% da potência total cedida pelo vento, isto é, a $C_p = 0,59$ (QUASCHNING, 2005). Na realidade, a potência total fornecida pelo vento é ainda menor, devido às perdas aerodinâmicas e mecânicas nos aerogeradores.

A relação entre a velocidade linear (m/s) da extremidade da pá da turbina de raio $R(m)$, rodando à velocidade $\omega_r (rad/s)$ e a velocidade do vento $v (m/s)$ é caracterizada por um factor adimensional, conhecido por razão de velocidades na pá ou velocidade específica na ponta da pá λ (Castro, 2009)

$$\lambda = \frac{\omega_r \times R}{v}$$

As turbinas eólicas são projectadas para gerarem a máxima potência a uma determinada velocidade de vento. Esta potência é denominada potência nominal e a velocidade do vento a que ela é atingida é designada velocidade nominal do vento (COSTA, 2006).

Área de varrimento da turbina: A área de varrimento da turbina determina a maior ou menor capacidade de receber energia do vento. Quanto maior a área de varrimento de uma turbina, maior será a sua capacidade de capturar energia do vento. A comprovar isto, o gráfico da Figura 6 foi construído com base numa recolha de características técnicas de micro-aerogeradores existentes no mercado:

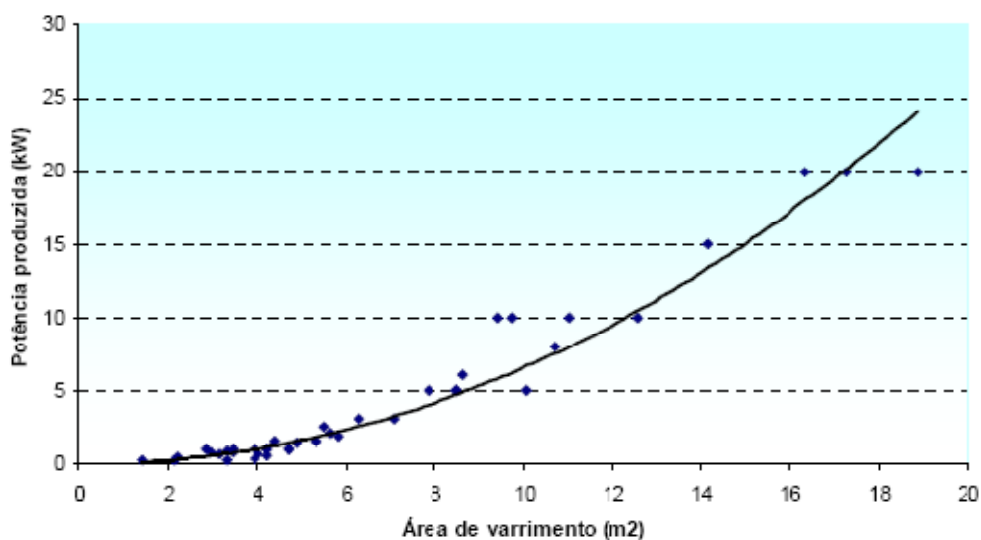


Figura 6 - Potência produzida em função da Área de varrimento da turbina

Densidade do ar no local de instalação do aerogerador: A energia cinética de um corpo em movimento é proporcional à sua massa. Da mesma forma, a energia cinética do vento depende da densidade do ar, ou seja, da sua massa por unidade de volume. Poder-se-á, então, concluir que quanto maior a densidade do ar maior será a energia cinética fornecida à turbina. A pressão atmosférica média a 15°C é cerca de 1,225 kg/m³, no entanto, a densidade do ar diminui com o aumento da altitude e humidade.

Rugosidade do terreno: refere-se à influência exercida pelos obstáculos à passagem do vento. A superfície do solo, em altitudes elevadas (da ordem da grandeza do quilómetro) exerce uma pequena influência sobre o vento. No entanto, nas camadas mais baixas da atmosfera, a velocidade do vento é afectada pela fricção com a superfície terrestre. Quanto maior a rugosidade do terreno, maior será a perda da energia do vento, ou seja, em grandes aglomerados habitacionais e zonas densamente arborizadas há um maior entrave à passagem do vento. Pelo contrário, em zonas mais abertas, como áreas agrícolas, vales, planícies, a influência sobre a passagem do vento é menor (COSTA, 2006)

2.3. Turbinas

É o componente do sistema eólico responsável por captar a energia cinética do vento. A configuração da turbina influenciará directamente o rendimento global do sistema. As turbinas eólicas podem ser classificadas segundo orientação do seu eixo:

Turbinas de eixo horizontal

Os rotores de eixo horizontal são as mais comuns e grande parte da experiência mundial está voltada para a sua aplicação. Segundo alguns especialistas (QUASCHNING, 2005) estes são movidos por forças aerodinâmicas chamadas de forças de sustentação (*lift*) e forças de arrasto (*drag*). Um corpo que obstrui a passagem do vento sofre a acção de forças que actuam segundo uma direcção perpendicular ao escoamento (forças de sustentação) e de forças que actuam segundo a direcção do escoamento (forças de arrasto). Ambas são proporcionais ao quadrado da velocidade relativa do vento. Estes mecanismos são detalhados em diversos documentos (QUASCHNING, 2005) (MANWELL, 2009).

Os rotores que giram predominantemente sob o efeito de forças de sustentação permitem adquirir mais potência do que aqueles que giram sob efeito de forças de arrasto, para a mesma velocidade de vento.

As turbinas de eixo horizontal (aerogeradores convencionais) são predominantemente movidas por forças de sustentação e devem possuir mecanismos capazes de permitir que o círculo formado pelo movimento de rotação das pás esteja sempre numa posição perpendicular ao vento (estes mecanismos podem ser tão simples como um vulgar cata-vento).

Este tipo de turbinas podem ser constituídas por um conjunto de duas ou três pás rígidas, que podem assumir variadas formas e ser construídas a partir dos mais diversos

materiais, sendo os mais utilizados os alumínio, a fibra de vidro reforçada e a madeira (DUTRA, 2007).

Os principais elementos que compõem o sistema com turbinas horizontais são:

- ↳ Rotor;
- ↳ Caixa multiplicadora;
- ↳ Eixo de alta velocidade;
- ↳ Mancal de posicionamento e sistema de posicionamento;
- ↳ Torre;
- ↳ Sensores, controlo e sistemas de comunicação;

Rotor: O rotor de uma turbina é composto por um certo número de pás acopladas a um eixo central. Geralmente as pás são fabricadas em fibra de vidro reforçada ou madeira laminada revestida com resina. O eixo central é habitualmente fabricado em aço, é onde as pás são acopladas com parafusos. A fibra de carbono tem sido utilizada em algumas aplicações, mas o elevado custo impede que seja utilizada em larga escala. Em relação à superfície de ataque do vento incidente nas pás, o rotor pode ser colocado a montante ou a jusante da torre.

A opção *upwind*, em que o vento ataca as pás pelo lado da frente, generalizou-se devido ao facto de o vento incidente não ser perturbado pela torre. A opção *downwind*, em que o vento ataca as pás pelo lado de trás, permite o auto alinhamento do rotor na direcção do vento, mas tem vindo a ser progressivamente abandonada, pois o escoamento é perturbado pela torre antes de incidir no rotor (Castro, 2009).

Os rotores horizontais são geralmente caracterizados em função da direcção da incidência do vento, do tamanho das pás, do número e tipo de pás e do tipo de passo. Outros parâmetros usados para descrever o rotor são o ângulo do cone, a velocidade da extremidade da pá e rotações por minuto (rpm).

Transmissão e caixa multiplicadora: A transmissão, que engloba a caixa multiplicadora, tem como finalidade transmitir a energia mecânica entregue pelo eixo da turbina até a carga.

O projecto convencional de uma turbina eólica consiste em colocar a caixa de transmissão mecânica entre a turbina e o gerador de forma a adaptar a baixa velocidade do rotor à velocidade de rotação mais elevada dos geradores convencionais.

A velocidade angular das turbinas geralmente varia na faixa de 20 a 150 rpm, devido às restrições de velocidade na ponta da pá. Entretanto, os geradores, sobretudo os assíncronos, trabalham a rotações muito mais elevadas (em geral, entre 1200 a 1800 rpm), tornando-se necessário procede à instalação de um sistema de multiplicação entre os eixos.

Mais recentemente, alguns fabricantes desenvolveram com sucesso aerogeradores sem a caixa multiplicadora e abandonaram a forma tradicional de construir turbinas eólicas. Ao invés de utilizar a caixa de engrenagens com alta relação de transmissão, necessária para alcançar a elevada rotação dos geradores, utilizam-se geradores multi-pólos de baixa velocidade e grandes dimensões. Os dois tipos de projectos possuem suas vantagens e desvantagens e a decisão em usar caixa multiplicadora ou fabricar um aerogerador sem caixa de transmissão é antes de tudo uma questão de filosofia do fabricante (DUTRA, 2007).

Turbinas de eixo vertical

Atendendo às características das turbinas de eixo horizontal, os rotores de eixo vertical têm a vantagem de não precisarem de mecanismos de acompanhamento para as variações da direcção do vento; desta forma são reduzidos os esforços provocados pelas forças de *Coriolis* e é atenuada a complexidade do projecto.

Os rotores de eixo vertical também podem ser movidos por forças de sustentação (*lift*) e por forças de arrasto (*drag*). Os principais tipos de rotores de eixo vertical são *Darrieus*, *Savonius* e turbinas com torre de vórtices (QUASCHNING, 2005), como apresentadas na Figura 7.

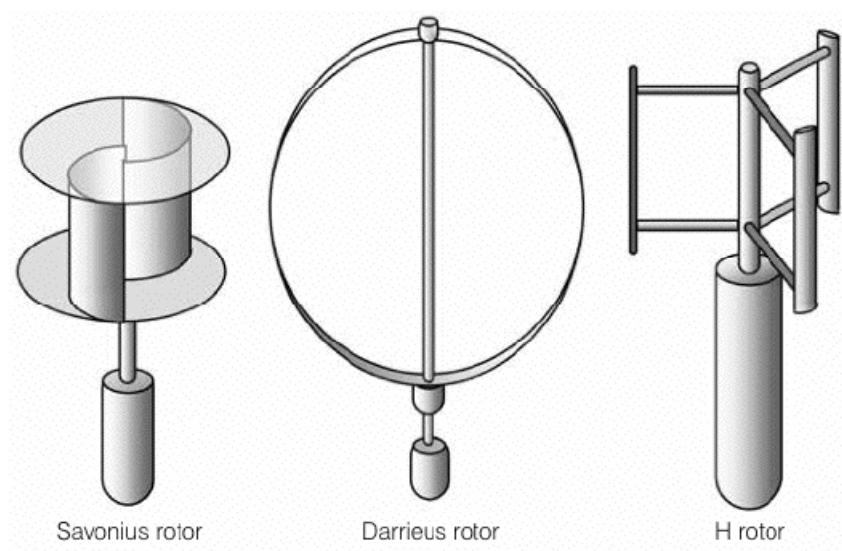


Figura 7 - Turbinas de eixo vertical (QUASCHNING, 2005)

As turbinas do tipo *Darrieus* são movidas por forças de sustentação e constituídas por lâminas (duas ou três) com a forma de uma parábola, fixas nas duas extremidades ao eixo vertical (QUASCHNING, 2005).

O eixo principal de uma turbina vertical é perpendicular à superfície da terra. As pás, que podem ser curvas ou rectas, giram em torno do eixo vertical. Os principais elementos desse tipo de projecto são:

- ↪ Pás do rotor e tubo de binário;
- ↪ Cabos de suportação e mancais;
- ↪ Estrutura de suportação e fundação;

Rotor coluna ou eixo de rotação: o rotor de uma turbina vertical é constituído habitualmente por duas pás, são acopladas directamente ao rotor coluna ou através de tirantes. Por sua vez, o tubo de binário por sua vez encontra-se acoplado à caixa de engrenagens e ao gerador.

Cabos de aço e mancais: os cabos de aço são utilizados para suportar o tubo de binário e mantê-lo na posição vertical. Os cabos são ligados na parte superior do tubo de binário a um mancal, e estendem-se até ao solo onde são fixos através de conexões em aço a uma fundação. Na parte inferior, o rotor coluna é suportado por um outro mancal

Estrutura de suportação e fundação: com excepção do tubo de binário, todos os outros elementos do trem de accionamento situam-se no solo e são montados numa única estrutura de suporte. Uma das vantagens dos sistemas de configuração vertical é que a maioria das actividades de manutenção é realizada no solo (QUASCHNING, 2005)

Turbina de eixo horizontal vs Turbina de eixo vertical

Eixo Horizontal

➤ *Vantagens:*

↪ Possui a capacidade de ajustar o ângulo de ataque das pás da turbina, fornecendo um controlo de potência mais rigoroso;

↪ Em situações atmosféricas severas os mecanismos de controlo inerentes às turbinas em eixo horizontal permitem minimizar o risco de danos na turbina;

↪ As turbinas de eixo horizontal, normalmente situadas em locais mais altos que as turbinas de eixo vertical, dispõem de ventos com maior velocidade, o que lhes permite um aumento substancial na produção de energia;

➤ *Desvantagens*

↪ A instalação e manutenção são complexas, devido à altura da torre e pelo facto da maquinaria se situar no topo da torre, sendo necessários mais meios físicos e, consequentemente, financeiros para transporte / instalação / manutenção (MASTERS, 2004);

↪ As turbinas que operam a jusante do vento (Downwind) sofrem maiores vibrações nas suas estruturas;

Eixo Vertical

➤ *Vantagens*

↪ Não necessitam de mecanismos de acompanhamento para variações da direcção do vento (QUASCHNING, 2005);

↪ A maquinaria (gerador e outros elementos mecânicos) é localizada no solo; deste modo as actividades de manutenção são realizadas no solo (QUASCHNING, 2005);

✧ Ideais para locais onde legalmente não seja possível a colocação de estruturas altas nos edifícios;

➤ *Desvantagens*

✧ No fabrico destas turbinas existe a necessidade de maiores quantidades de material comparativamente a uma turbina de eixo horizontal que produza a mesma potência. Normalmente, as turbinas de eixo vertical encontram-se muito perto do solo, onde os ventos são mais fracos (MASTERS, 2004)

✧ O vento próximo da superfície é turbulento o que aumenta a instabilidade nos apoios e pás da turbina (MASTERS, 2004)

✧ Aquando da existência de ventos fortes terá que ser realizado um controlo de potência no sentido de proteger o gerador. Contudo, este controlo não pode ser efectuado reduzindo o aproveitamento do vento como se verifica nas turbinas em eixo horizontal. Neste caso, este controlo terá que ser realizado pelos conversores electrónicos de potência (PATEL, 2006);

✧ A turbina do tipo *Darrieus* necessita de um sistema de arranque auxiliar (por vezes são acopladas a turbinas do tipo *Savonius*) (QUASCHNING, 2005)

✧ As turbinas do tipo *Darrieus* têm uma eficiência superior às turbinas do tipo *Savonius*, no entanto, as primeiras apenas atingem 75% da eficiência das turbinas com eixo horizontal

2.4. Gerador

A transformação de energia mecânica de rotação em energia eléctrica, através de equipamentos de conversão electromecânicos é assunto tecnologicamente dominado e, portanto, encontram-se disponíveis no mercado diversos modelos, de diferentes fabricantes para as mais variadas gamas de potência e aplicações.

No entanto, a integração de geradores em sistemas de conversão de energia eólica, é um problema que envolve algumas dificuldades, nomeadamente:

- ↪ Variação da velocidade do vento;
- ↪ Variações do binário de entrada, uma vez que as variações da velocidade do vento conduzem variações de potência transmitidas ao eixo de rotação;
- ↪ Exigência de frequência e tensão constantes na energia produzida;

A Figura 8 apresenta as percentagens do tipo de geradores aplicados em sistemas ME. Este gráfico foi construído com base numa recolha de características técnicas de cerca de 50 micro aerogeradores existentes no mercado (**ver Anexo 2**). Nesta análise destacam-se dois tipos de geradores, mais especificamente, geradores assíncronos e geradores síncronos de ímanes permanentes, estes com uma cota significativa no mercado de micro aerogeradores.

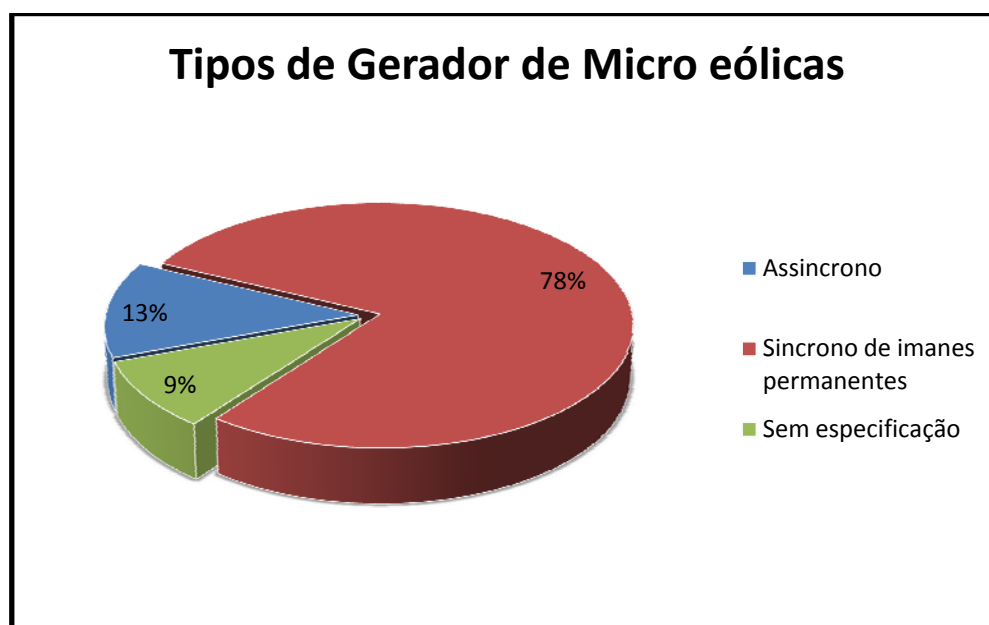


Figura 8 - Tipos de Geradores de micro eólicas

Os dois tipos básicos de geradores eléctricos são os síncronos, largamente utilizados como gerador e como motor onde se requer velocidade constante, e os assíncronos, que são os mais utilizados em turbinas eólicas de grande porte, aos quais pertencem as máquinas de indução do tipo gaiola de esquilo. Ambos os tipos de geradores trabalham na faixa de 1800 rpm (para 4 pólos, 50Hz) ou 1200 rpm (para seis pólos, 50Hz).

Gerador Assíncrono: nestes geradores, a velocidade de rotação do rotor é função da velocidade do vento. Daí advém o facto, das máquinas não trabalharem, normalmente, a uma velocidade constante. A variação de algumas rpm na velocidade do rotor traduz-se numa variação das centenas de rpm à saída da caixa multiplicadora, funcionando o gerador num modo de velocidade variável, embora numa gama estreita. Tendo em conta o conceito de aplicações de velocidade, a frequência das grandezas induzidas não depende directamente da velocidade de rotação do veio.

Outra vantagem é o facto do gerador assíncrono ter uma contribuição desprezável para o aumento da potência de curto-circuito. Por conseguinte, como este gerador não tem excitação independente (esta provém da rede), se ocorrer um curto-circuito, a máquina fica desligada da rede, sem excitação, e não alimenta o curto-circuito.

Ao contrário dos geradores síncronos, nos assíncronos, o factor de potência é um parâmetro construtivo pouco variável em função do ponto de funcionamento de carga.

O elevado consumo de potência reactiva destes geradores obriga a um investimento adicional em sistemas de compensação do factor de potência.

A instalação do gerador assíncrono não é recomendada para utilização em regime isolado da rede, pois o controlo tensão/frequência é difícil. No entanto, quando ligado à rede, desde que o sistema de controlo seja eficaz, não apresenta problemas (Ackermann, 2005).

Gerador Síncrono: os sistemas que incluem geradores síncronos têm tido menos aplicabilidade em sistemas eólicos devido ao carácter variável do vento, incompatível com o facto do gerador síncrono ter de funcionar a uma velocidade exactamente constante. O que significa que, apesar das variações na velocidade do vento, as pás da turbina têm de rodar sempre à mesma velocidade porque estão directamente associadas ao veio do rotor da máquina. Estes geradores têm aplicabilidade quando associados a sistemas de electrónica de potência convenientes, mas sem esquecer o inevitável e substancial aumento de preço, bem como a produção indesejada de harmónicos.

Por outro lado, os geradores síncronos podem funcionar com qualquer ângulo de defasamento entre a tensão e a corrente, possuindo uma característica de funcionamento ajustável através da excitação do gerador (com excepção da frequência). Assim, a produção de energia reactiva pode ser controlada, evitando-se flutuações de potência (Ackermann, 2005)

Além disso, os aerogeradores síncronos, dado que estão ligados à rede através de uma unidade de rectificação/ondulação, permitem que algumas flutuações do vento sejam “filtradas”. No entanto, por terem excitação independente, no caso de ocorrer um curto-circuito, a excitação continua alimentar a máquina e esta contribui para o aumento de intensidade de corrente em regime transitório (Ackermann, 2005).

Gerador Síncrono de Ímanes Permanentes: muitos artigos técnico-científicos têm sugerido a aplicação de geradores síncronos de ímanes permanentes (PMSG) em turbinas eólicas devido às suas propriedades de auto-excitação, o que permite uma operação com elevado factor de potência e elevada eficiência (Ackermann, 2005). A arquitectura de um sistema de conversão de energia eólica a velocidade variável, utilizando um PMSG

accionado directamente pela turbina, ligado à rede receptora através de um conversor de frequência, representa uma solução viável na exploração da energia eólica.

No entanto os materiais usados para fabricar ímanes permanentes são bastante dispendiosos. Além disso, a utilização deste tipo de máquinas requer o uso de conversores electrónicos de potência, com o objectivo de ajustar a tensão e a frequência da produção para a tensão e a frequência de transmissão. Outra desvantagem é que os materiais magnéticos são sensíveis à temperatura, por exemplo, durante um defeito, o íman pode perder as suas qualidades magnéticas devido às elevadas temperaturas. Portanto, a temperatura do rotor das máquinas de ímanes permanentes deverá ser controlado, recorrendo a um sistema de arrefecimento.

No entanto, a vantagem é que este tipo de sistema pode produzir energia eléctrica a qualquer velocidade. Neste sentido, este tipo de máquinas poderá assumir um papel relevante na aplicação em sistemas de aproveitamento eólico.

O estator dos PMSG é bobinado, e o rotor é constituído por um sistema de pólos de ímanes permanentes, que podem ser pólos cilíndricos ou salientes. Estes últimos são os mais comuns em máquinas de baixa velocidade e poderá ser o mais recomendado para aplicação em sistemas eólicos (Ackermann, 2005)

Para a ligação directa do gerador à rede receptora, é necessário garantir que as frequências nominais da máquina e da rede sejam as mesmas, e ainda que o gerador seja capaz de amortecer convenientemente as oscilações para que o funcionamento seja estável. Para tal, é necessário um número elevado de pólos, por exemplo, para um gerador, com uma velocidade nominal de 32 rpm, são necessários 188 pólos.

2.5. Mecanismo de Controlo

Os mecanismos de controlo destinam-se à orientação do rotor, ao controlo de velocidade, ao controlo da carga, etc. Pela multiplicidade de controlos, existe uma enorme variedade de mecanismos, que podem ser mecânicos (velocidade, passo, freio), aerodinâmicos (posicionamento da turbina face ao vento) ou electrónicos (controlo da carga).

Os aerogeradores utilizam diversos princípios de controlo aerodinâmico para limitar a extracção de potência. Os mecanismos de controlo são designados de passo fixo (*stall*) e passo variável (*pitch*). No passado, a maioria dos aerogeradores utilizava o sistema de passo fixo. Entretanto, com o aumento do tamanho das máquinas, os fabricantes estão a optar pelo sistema de passo variável, por este permitir uma maior flexibilidade na operação das turbinas eólicas.

Os aerogeradores com regulação de potência por *stall* e *pitch*, muito embora se comportem de forma muito semelhante do ponto de vista de ligação à rede eléctrica, estes mecanismos de potência apresentam algumas diferenças no que diz respeito à curva de potência.

2.5.1. Controlo de passo fixo (*Stall Control*)

O controlo de passo fixo é um sistema passivo que reage à velocidade do vento. As pás da turbina são fixas de forma a formarem um dado ângulo com a direcção do vento, não podendo girar em torno de seu eixo longitudinal. O ângulo de passo é determinado para que as pás, através do seu perfil, provoquem o deslocamento aerodinâmico do fluido que as atravessa originando turbulência. Esta turbulência ir-se-á traduzir por uma diminuição do coeficiente de sustentação e, conseqüentemente, da sua força e por um aumento do

coeficiente de arrasto e força correspondente. Portanto, o binário desenvolvido sofrerá um decréscimo em cada uma das pás.

Para evitar que o efeito de perda de velocidade ocorra em todas as posições das pás ao mesmo tempo, o que reduziria significativamente a potência da turbina, as pás apresentam uma pequena torção longitudinal que as levam a uma atenuação deste efeito. (DUTRA, 2007)

Os aerogeradores com controlo de passo fixo, em comparação com os aerogeradores com controlo de passo variável, possuem as seguintes vantagens:

- ↪ Inexistência de sistema de controlo de passo;
- ↪ Estrutura de cubo do rotor simples;
- ↪ Menor manutenção devido a um número menor de peças móveis;

A maioria dos fabricantes utiliza esta possibilidade simples de controlo de potência, sendo a mais utilizada na concepção de aerogeradores de potências reduzidas (até aos 5 kW). Este sistema necessita de uma velocidade constante do rotor, geralmente dada pelo gerador de indução directamente ligado à rede.

2.5.2. Controlo de passo variável (*Pitch Control*)

O controlo de passo variável ou *Pitch Control* é um sistema activo que normalmente necessita de um sinal de controlo do gerador de potência. Sempre que a potência nominal do gerador é ultrapassada, devido a um aumento da velocidade do vento, as pás da turbina giram em torno do seu eixo longitudinal, ou seja, as pás mudam o seu ângulo de passo para reduzir o ângulo de ataque do fluxo do ar. Com esta redução do ângulo de ataque alteram-se as forças actuantes no sentido de uma redução da extracção de potência do vento, por parte da turbina. O ângulo de ataque das pás da turbina é determinado de

forma que, para todas as velocidades do vento, a turbina opere à potência nominal (QUASCHNING, 2005).

Sob todas as condições de vento, o fluxo de ar em torno do perfil da pá é bem aderente à sua superfície, produzindo sustentação aerodinâmica a pequenas forças de arrasto. Turbinas com controlo de passo variável são mais sofisticadas do que as de passo fixo, controladas por *stall*, porque estas necessitam de um sistema de variação de passo. As turbinas com controlo de passo variável permitem um maior controlo de potência activa injectada na rede para uma gama maior de velocidades de vento. Para uma descrição detalhada deste tipo de mecanismos consultar (MANWELL, 2009).

Este sistema para além de ser um sistema mais complexo do que anterior, possui uma desvantagem para ventos de maior velocidade. Como o tempo de resposta do mecanismo de controlo não é instantâneo, surgem pequenas variações na geração instantânea de potência activa em torno do valor da potência nominal.

Mais recentemente surgiu uma concepção que mistura os mecanismos de controlo de passo fixo e variável, denominado *active stall control*. Para ventos de velocidade reduzida, as pás giram igualmente em torno do seu eixo longitudinal, como se passa no controlo de passo variável, com o objectivo de alcançar a máxima eficiência. Para velocidades de vento elevada as pás da turbina giram suavemente em torno do seu eixo longitudinal, de forma a formarem um dado ângulo com a direcção do vento, que é determinado por forma a que, para velocidades de vento superiores à velocidade nominal, o escoamento em torno do perfil da pá do rotor descola da superfície da pá, reduzindo as forças de sustentação e aumentando as forças de arrasto (PATEL, 2006).

Este tipo de sistema elimina as pequenas flutuações de potência activa verificadas no controlo de passo variável. As vantagens do sistema *active stall control* são:

- ↪ Necessidade de reduzidas mudanças no ângulo do passo;
- ↪ Possibilidade de controlo da potência sob condições de potência parcial (baixas velocidades de vento);

2.6. Interligação com a rede

Os sistemas ME são dimensionados de acordo com a autonomia desejada. Podem funcionar em rede isolada. Neste caso, exigem um sistema de armazenamento de energia, para posterior abastecimento em alturas de escassez da fonte de energia primária.

Este tipo de sistemas poderá igualmente ser ligado à rede de distribuição em BT. Nesta situação poderá não ser necessário um sistema de armazenamento de energia, porque no caso de a produção exceder o consumo, o excesso é vendido à rede; caso contrário, quando o consumo é superior à produção, a energia necessária à alimentação das cargas é fornecida pela rede (ZENTI).

2.7. As Micro turbinas Eólicas

2.7.1. Tecnologias eólicas para a microgeração

Existem várias definições e classificações de pequenas turbinas eólicas, sendo a única universalmente aceite que são turbinas eólicas cuja área de captação da energia incidente do vento é inferior a 200m² de acordo com a norma IEC 61400-2. No entanto, é normal que estas pequenas turbinas sejam objecto de subclassificação e categorização adicionais quanto à dimensão e orientação do rotor. No que respeita à dimensão deste, utiliza-se a

denominação de “micro” turbinas eólicas, quando a sua utilização é doméstica (e a potência raramente excede os 5kW) e de mini turbinas eólicas para potências de uma a algumas dezenas de kW. Na tabela 1 apresenta-se a subclassificação das SWT quanto à dimensão do rotor proposta na norma IEC 61400-2 e a subclassificação quanto à potência nominal aceite no sector. (ESTANQUEIRO & SIMÕES, 2010)

SUB-CLASSE	DIÂMETRO DO ROTOR (M)	CLASSIFICAÇÃO NORMATIVAS (AREA VARIDA, A(m2))	CLASSIFICAÇÕES COMUNS (POTÊNCIA NOMINAL Pu (kW))	APLICAÇÕES
MICRO TURBINA	$D > 1,6 \text{ m}$	$A < 2 \text{ m}^2$	$< 5 \text{ kW}$	Domésticas
MINI TURBINA	$1,6 \text{ m} < D < 5 \text{ m}$	$2 \text{ m}^2 < A < 78,5 \text{ m}^2$	$5 \text{ kW} < P_u < 50 \text{ kW}$	Urbanizações e pequenas empresas
PEQUENA TURBINA	$5 \text{ m} < D < 16 \text{ m}$	$78,5 \text{ m}^2 < A < 200 \text{ m}^2$	$50 \text{ kW} < P_u < 500 \text{ kW}$	Grandes urbanizações e PMEs de consumo significativo (ex: agro-pecuárias)

Tabela 1 - Subclassificação de pequenas turbinas eólicas

Quanto à utilização da energia eléctrica, e sua integração (ou não) numa rede pré-existente, as pequenas turbinas eólicas dizem-se “interligadas” à rede eléctrica quando dispõem de um sistema que lhes permite entregar energia à rede de distribuição e, funcionando em “regime isolado” da rede, quando operam sem o apoio desta, necessitando normalmente de um sistema de armazenamento de energia eléctrica. (ESTANQUEIRO & SIMÕES, 2010)

CAPITULO 3

Características de instalação

3.1. O potencial eólico em ambiente urbano

O potencial eólico em zonas urbanas é de caracterização difícil devido à presença dos obstáculos e estruturas naturalmente existentes nas cidades. A sua presença causa efeitos de separação do escoamento, redução da velocidade do vento e turbulência elevada nas zonas acima e em redor dos edifícios. Esta dificuldade é reforçada pelos elevados custos das campanhas experimentais de medição do vento, as quais sendo utilizadas universalmente para caracterização do desempenho das grandes turbinas, se vêm inviabilizadas por motivos económicos no caso das micro-turbinas eólicas, facto que constitui uma importante barreira ao desenvolvimento de aproveitamentos urbanos da energia eólica. (ESTANQUEIRO & SIMÕES, 2010)

A dificuldade em recorrer à caracterização experimental do vento, leva a que se recorra a outras alternativas, pese embora com imprecisão acrescida. Entre as fontes possíveis de informação encontram-se as bases de dados dos ventos ou os Atlas do Potencial Eólico. (ESTANQUEIRO & SIMÕES, 2010)

3.2. Características especiais do Vento

Apresentam-se de seguida, várias características que deverão ser tidas em conta quando se pretende instalar um aerogerador.

3.2.1. Obstáculos

Os obstáculos – edifícios, árvores, formações rochosas – têm uma influência significativa na diminuição da velocidade do vento e são fontes de turbulência na sua vizinhança. A Figura 9 mostra o modo como o escoamento é afectado na área envolvente do obstáculo, podendo verificar-se que a zona turbulenta se pode estender até cerca de três vezes a altura do obstáculo, sendo mais intensa na parte de trás do que na parte da frente do obstáculo (Castro, 2009).

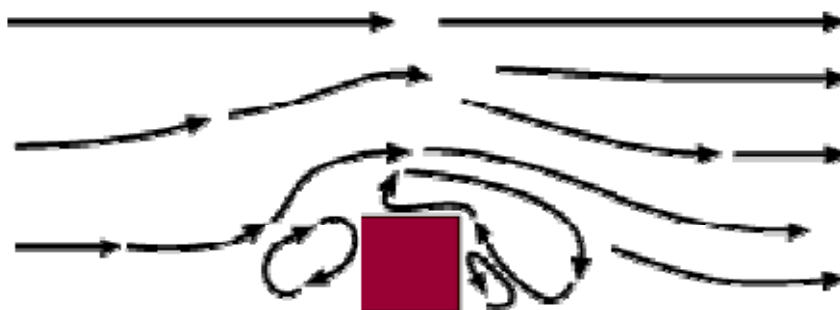


Figura 9 - Escoamento na zona envolvente de um obstáculo (Castro, 2009)

A redução na velocidade do vento depende das dimensões e da porosidade do obstáculo.

Porosidade define-se através da seguinte equação:

$$p = 1 - \frac{A_t}{A_{ef}}$$

Em que A_t é a área total ocupada pelo objecto e A_{ef} é a sua área efectiva.

Por exemplo, um edifício tem porosidade nula; a porosidade das árvores varia entre o verão e o inverno de acordo com a quantidade de folhas.

Sempre que os obstáculos se encontrem a menos de 1 km medido segundo uma das direcções predominantes, eles terão de ser tidos em conta no projecto de instalação de turbinas (Castro, 2009).

3.2.2. Efeito esteira

Outro aspecto a considerar é o chamado *efeito de esteira*. Uma vez que uma turbina eólica produz energia mecânica a partir da energia do vento incidente, o vento que “sai” da turbina tem um conteúdo energético muito inferior ao do vento que “entrou” na turbina. De facto, na parte de trás da turbina forma-se uma esteira de vento turbulento e com velocidade reduzida relativamente ao vento incidente. A Figura 10 foi obtida injectando fumo branco no ar que passa através da turbina para mostrar a situação que se descreveu (Castro, 2009).



Figura 10- Efeito de esteira (Castro, 2009)

É por esta razão que a colocação das turbinas dentro de um parque eólico tem de ser efectuada de modo criterioso (Figura 11). É habitual espaçar as turbinas de uma distância entre cinco e nove diâmetros na direcção preferencial do vento e entre três e cinco diâmetros na direcção perpendicular. Mesmo tomando estas medidas, a experiência mostra que a energia perdida devido ao efeito de esteira é de cerca de 5% (Castro, 2009).

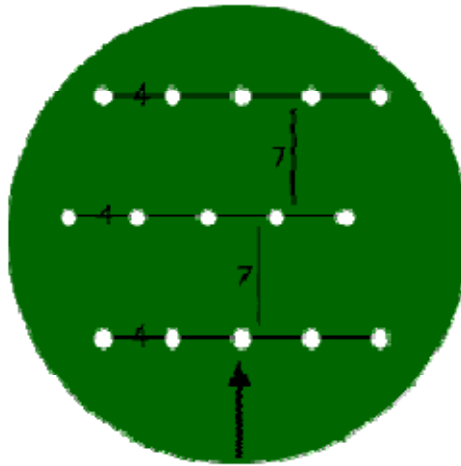


Figura 11- Colocação das turbinas num parque eólico (Castro, 2009)

3.2.3. Cisalhamento

O cisalhamento do vento consiste num efeito de “corte”, isto é, a velocidade do vento diminui com a proximidade do solo. Como tal, a turbina de um aerogerador encontra-se sujeita a diferentes forças, consoante se encontra mais ou menos próxima do solo.

É possível determinar a velocidade do vento para uma determinada altura, recorrendo à seguinte equação

$$V(Z) = V(Z_{ref}) \times \left(\frac{Z}{Z_{ref}} \right)^{\alpha}$$

Onde Z é a altura para qual se pretende conhecer a velocidade, Z_{ref} é a altura referencia, $V(Z_{ref})$ representa a velocidade na cota de referencia e α é o coeficiente de atrito da superfície (ALMEIDA, 2002).

3.3. Escolha do local de instalação de um aerogerador

O aerogerador deve ser instalado num local onde o vento seja forte e persistente. A identificação de um local de interesse para proceder à instalação pode ser identificado utilizando mapas adequados, de preferência mapas isoventos, visitas ao local e ainda a utilização de um software que faça a modelação do comportamento do vento (ex: urbanWIND). Estes procedimentos permitem realizar uma primeira estimativa do recurso eólico do local.

Assim, a eficiência da micro-turbina eólica dependerá de um par de factores:

↪ **Vento no local:** a velocidade do vento, e consequentemente a eficiência da micro-turbina eólica, variam consoante a sua localização. Assim, antes da instalação da turbina deve ser determinada a velocidade média do vento no local (através da monitorização por um anemómetro ou da recolha dos dados da estação meteorológica mais próxima) para prever o potencial da mesma;

↪ **Envolvente do edifício:** existência de árvores, edifícios ou outros objectos mais altos que o da instalação na envolvente próxima. Deste modo, e uma vez que é possível prever como um objecto pode perturbar o fluxo de vento, devem ser tidos em conta os seguintes aspectos aquando da instalação:

- Se existe um edifício mais alto que o da instalação com uma altura x , então a turbina terá de ser colocada a uma distância horizontal deste de $3x$;
- Se o edifício de instalação tem uma altura h , então a turbina terá de ser colocada a uma altura de $1/3 h$, no caso de edifícios de forma rectangular e a uma altura de $1/5h$ no caso de edifícios com telhado em bico, medida a partir

do limite superior do edifício, devido á turbulência que é causada pelo vento quando este bate no edifício figura 12;

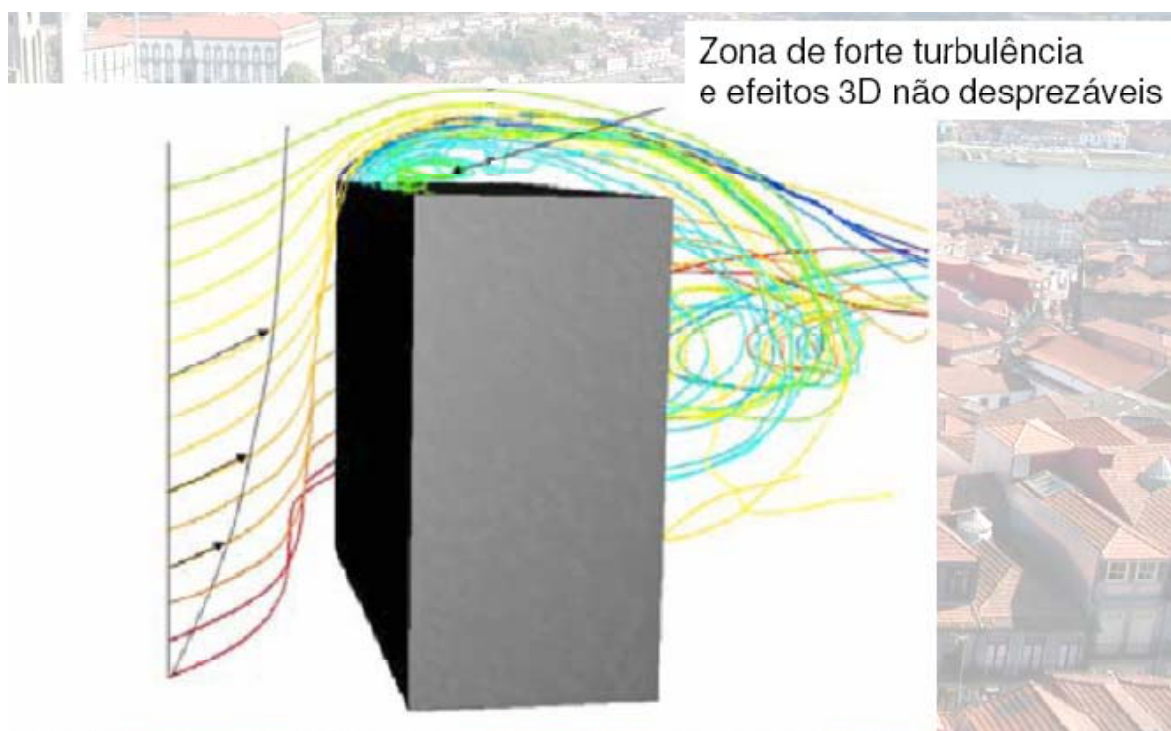


Figura 12 - Turbulência causada pelo vento quando bate no edifício (ESTANQUEIRO, 2008)

Para se proceder a uma caracterização mais detalhada do local aonde se pretende realizar a instalação, terá de ser realizado medições com o auxílio de anemómetros e sensores de direcção, sendo necessário que estes se encontrem bem expostos a todas a direcções do vento, com os obstáculos situados a pelo menos dez vezes a altura de instalação.



Figura 13 - Sensor de direcção e anemómetro de copos (Castro, 2009)

Apesar de apresentar uma constante de tempo inversamente proporcional à velocidade do vento, ou seja, a aceleração é mais rápida que a desaceleração, o anemómetro de copos é actualmente o tipo de anemómetro mais divulgado.

Os anemómetros sónicos oferecem a possibilidade de fornecer simultaneamente a direcção e velocidade do vento, permitindo recolher dados relativos à turbulência. A elevada frequência a que estes anemómetros amostram os dados contrapõe a sua gravação de modo descontínuo, de modo a não preencher rapidamente os sistemas de armazenamento de dados. A desvantagem destes anemómetros é o seu elevado preço.

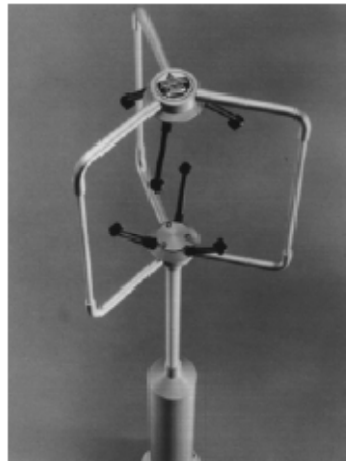


Figura 14 - Anemómetro Sónico (Castro, 2009)

A medição efectuada pelos anemómetros dá-se através de uma tensão variável, proporcional à velocidade do vento. Os anemómetros requerem uma calibração prévia, sendo aconselhável recalibrá-los durante longos períodos de utilização. Nos sensores de direcção, a direcção do vento é determinada através de uma tensão proporcional, sendo usualmente a tensão máxima obtida para norte relativamente ao corpo do instrumento, requerendo assim que o sensor seja previamente posicionado de modo correcto. Os dados obtidos são enviados para um sistema de armazenamento de dados.

3.3.1. Perfil dos ventos

As medições efectuadas da velocidade média e direcção do vento são registadas em tabelas, gráficos de frequências ou rosas-dos-ventos.

Na figura 15 apresentam-se duas rosas-dos-ventos divididas em 12 secções de 30°, englobando dados referentes a medições efectuadas na cidade do Porto, durante 2 meses distintos, Março e Setembro, respectivamente os meses mais e menos ventosos do ano, sendo perceptível a distribuição percentual das direcções em que o vento sopra. Assim é possível analisar que em Setembro o vento se deslocou essencialmente na direcção Noroeste no total de 35% de vento nessa direcção, enquanto em Março o vento se repartiu essencialmente por Noroeste e Sudoeste.

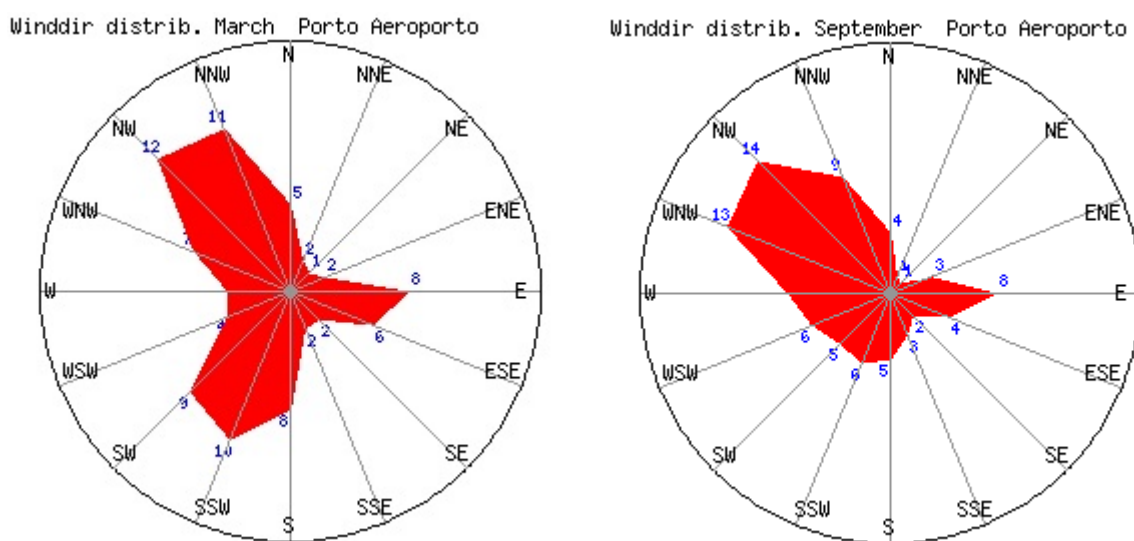


Figura 15 - Rosa dos Ventos da cidade do Porto (Windfinder.com)

A velocidade do vento e a direcção tornam-se importantes para determinar a orientação inicial dos aerogeradores em relação ao vento. Caso os dados dos quais se disponha sejam referidos a um ano, torna-se necessário saber se este foi um ano representativo, duvida que é ultrapassada caso se possuam medições de mais anos. No caso de apenas possuir a

medição referente a um ano, os dados disponíveis poderão ser comparados com dados provenientes de estações meteorológicas próximas.

3.3.2. Modelos físicos e modelos numéricos

Quando se pretende estudar simultaneamente vários locais, ou um só local disperso por uma área considerável, o recurso a modelos, físicos e/ou numéricos, é uma prática habitual. (Castro, 2009)

Os modelos físicos da topografia do terreno são realizados à escala e colocados num túnel de vento, onde se reproduzem condições de vento com padrões de comportamento semelhantes às do local. A realização destes ensaios permite caracterizar o vento em diversos sítios e a diferentes alturas, identificando problemas relacionados com o escoamento em terreno complexo e com a turbulência. Esta técnica permite obter resultados em algumas semanas, embora a construção dos modelos e a utilização do túnel sejam actividades dispendiosas. (Castro, 2009)

O desenvolvimento verificado nos computadores tornou possível a opção de recorrer a modelos numéricos para analisar o vento num local. (Castro, 2009) Nestas situações a caracterização do recurso é normalmente realizada através de uma aplicação em modelos de microescala (ex: WASP) em conjunto com resultados de modelos mesoscala, metodologia que, utilizando modelos que não são adaptados a ambientes urbanos, podem apresentar validade pontual. O recurso a modelos CFD (computacional fluid dynamic) constitui actualmente o estado da arte na modelação do comportamento do vento em redor das cidades, ou de edifícios. No entanto, aplicação destes modelos implica um elevado custo, sobretudo quando se pretende modelar uma cidade inteira, devido á complexidade da geometria exigida (elevado numero de pontos que constituem a malha do domínio a simular) e exigindo assim o recurso a computadores com uma elevada

capacidade de cálculo para obtenção de resultados de qualidade fidedigna.
(ESTANQUEIRO & SIMÕES, 2010)

3.4. Componentes de um sistema micro-eólico para ligação á rede

A figura 16 mostra-nos os diversos componentes que fazem parte de um sistema ligado á rede.

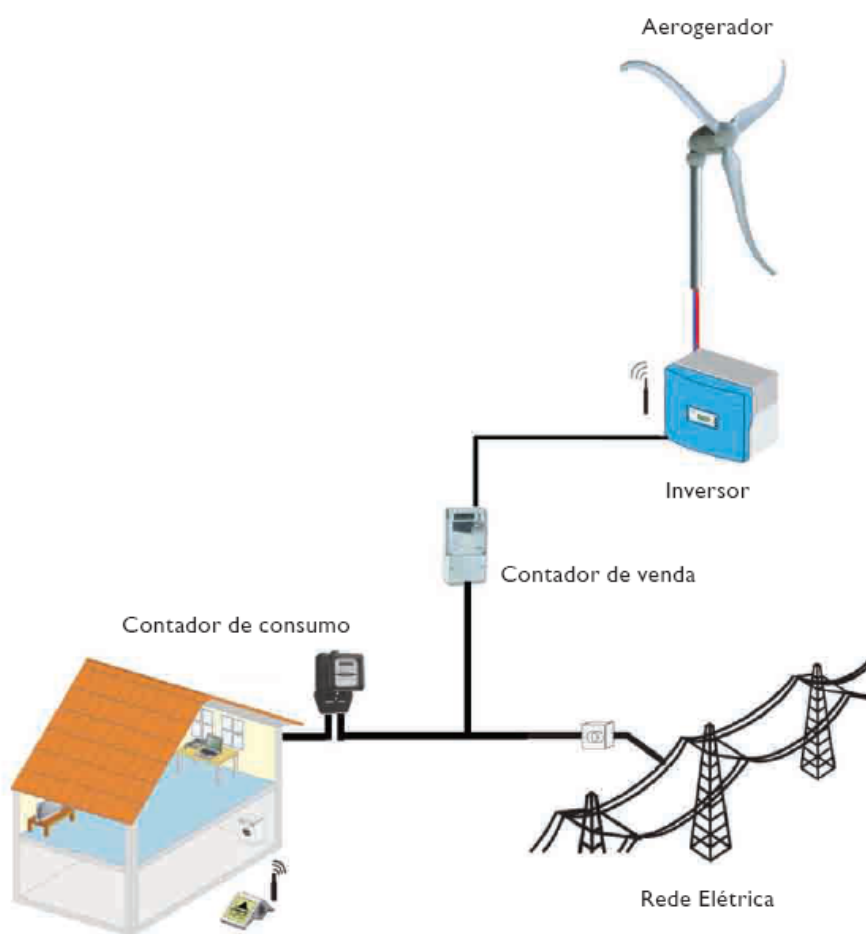


Figura 16 - Esquema Unifilar de uma instalação de microgeração ligada á rede (PEREIRA, 2010)

Aerogerador

A maioria das microeólicas utiliza geradores ímanes permanentes. Este gerador é mais simples e robusto e muito aproximado ao modelo ideal para as micro e mini eólicas.

Uma das características mais notáveis de alguns geradores de ímanes permanentes usados pelos fabricantes de mini eólicas é o seu desenho invertido, ou seja a carcaça na qual os ímanes estão montado, também chamada de cartucho magnético, roda por fora do estator, que é a parte estacionária do gerador. Nesta configuração, as pás podem ser aparafusadas directamente na carcaça, o que ocorre a maior parte das vezes. Outro benefício desta configuração é que a força centrífuga pressiona os ímanes contra a parede da carcaça.

A maioria dos geradores para as microeólicas produzem corrente alternada trifásica para se poupar espaço dentro da carcaça do gerador.

A utilização dos geradores de ímanes permanentes pode originar alguns problemas nas micro eólicas que funcionam com ventos mais baixos devido ao rotor estar parado. Os geradores de ímanes permanentes têm o inconveniente de quando os ímanes estão alinhados com os enrolamentos do Estator, o eixo poder bloquear, criando assim uma resistência ao movimento entre eles, e para resolver esta situação decidiu-se inclinar os ímanes. (GIPE, 2000)

Rectificador

A corrente proveniente do gerador é trifásica e alternada e necessita de ser rectificada, então utiliza-se um rectificador trifásico de ponte completa

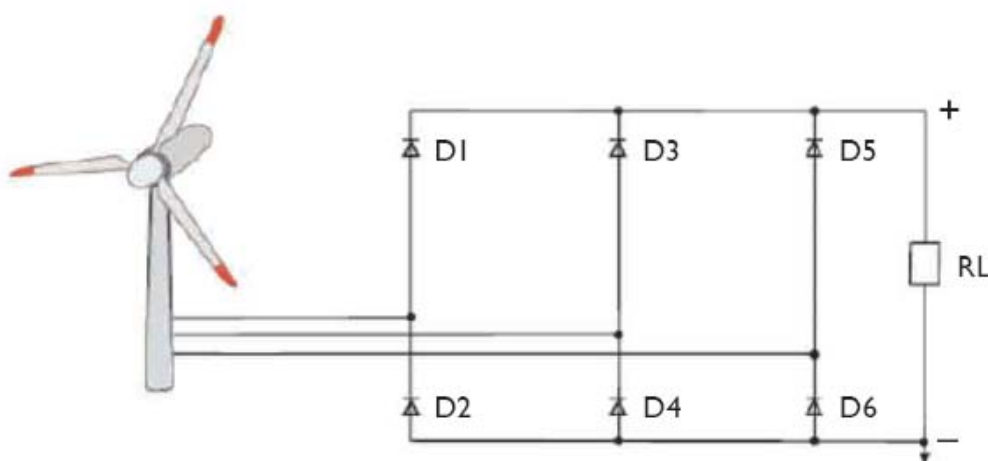


Figura 17 - Ligação de um aerogerador a um rectificador trifásico de ponte completa (PEREIRA, 2010)

É necessário que a tensão de *ripple* proveniente do rectificador não exceda os 10%. Alguns fabricantes incluem o rectificador integrado na turbina, sendo na maior parte das vezes adquirido separadamente. Os fabricantes dos inversores costumam incluir os valores das grandezas de entrada referentes à tensão e corrente após a saída do rectificador. (PEREIRA, 2010)

Caixa de Junção

No caso de se instalar mais do que uma micro-eólica, a caixa de junção será utilizada para ligar paralelamente as várias eólicas.

Esta caixa de junção situa-se logo a seguir ao rectificador, no caso de ser usada apenas uma micro-eólica e pode-se situar num ponto intermédio caso queiramos ligar mais do que uma micro-eólica.

No interior desta caixa é possível encontrar as ligações das eólicas, o cabo principal DC, bem como os terminais de ligação do aparelho de corte. Instala-se frequentemente um descarregador de sobretensões para terra, no qual exigirá uma ligação equipotencial ou condutor de terra ligado à caixa. A caixa deverá possuir uma protecção de classe II,

resistência a choques mecânicos e ter no seu interior, os terminais positivo e negativo separados. Caso a instalação da caixa seja no exterior, esta deverá ter no mínimo IP54 e ser resistente aos raios UV.

Controlador de tensão

É necessário incluir um controlador de tensão equipado com uma carga de derivação que irá proteger o inversor contra as sobretensões. As sobretensões podem ocorrer perante grandes velocidades de rotação aquando os ventos fortes e quando um aumento da velocidade da turbina pode desligar o inversor da rede.

A carga de derivação apresenta-se como um elemento necessário para onde é enviada a sobretensão de modo a reduzir a velocidade e consequentemente o valor da tensão.

Inversor

O inversor permite estabelecer a ponte entre a microeólica e a rede, transformando a corrente continua proveniente do rectificador em corrente alternada, mas encontrando-se de acordo com a frequência e nível de tensão da rede a que se pretende ligar, sendo para efeitos de micro geração respectivamente 50Hz e 230V. Para isso ser possível podem-se encontrar transformadores de isolamento em alguns inversores comercializados.

Ligação á rede

A ligação de uma unidade produtora requer vários cuidados nomeadamente ao nível da qualidade do sinal eléctrico injectado na rede, na propagação de harmónicos, factor potência, desvio da tensão, frequência, fase e no esquema de protecção *anti-islanding* utilizado. A protecção *anti-islanding* esta integrada no inversor e consiste num aparelho

que corta automaticamente a ligação entre o sistema de produção e a rede, caso seja detectada alguma anomalia na rede.

A protecção de interligação visa impedir a introdução de perturbações na rede por parte do gerador e minimizar assim o risco de acidentes que possam ser originados pelo funcionamento do gerador em paralelo com a rede.

Para efectuar este tipo de protecção poderão ser utilizados dispositivos ENS/MSD, que garantem uma monitorização contínua, e corte automático da ligação à rede. Estes dispositivos podem vir integrados no próprio inversor, estando também disponíveis em unidades separadas. A utilização os dispositivos ENS / MSD não dispensam uso de um sistema de corte de segurança de comando manual para que se possam efectuar os trabalhos de inspecção, manutenção e de reparação.

É requerido que o aumento da tensão no ponto de interligação seja inferior a 1% de modo a que a variação provocada na tensão da rede através da ligação do gerador seja mínima e não provoque perturbação significativa. (PEREIRA, 2010)

Contador

O contador deverá ser instalado num local passível de ser consultado de preferência perto dos meios de isolamento eléctrico. Este contador permitirá conhecer o valor da energia produzida pelo sistema eólico, bem como a ocorrência de defeitos. O contador que mede a energia entregue à rede pública é independente do contador que faz a contagem da energia consumida. A aquisição e instalação do contador de produção são da responsabilidade do produtor, sendo selado pelo distribuidor.

Portinhola

A construção da portinhola deverá ser efectuada consoante a DMA-C62-815N.

A portinhola designada por PC/P, possui na sua constituição dois circuitos de protecção, sendo um trifásico destinado à protecção da instalação de consumo do microprodutor e um circuito monofásico para protecção da instalação de microprodução, sendo este último dotado de duas bases de fusíveis cilíndricos tam.10x38, em que uma base é para o neutro e a outra para a fase.

A portinhola deverá funcionar perante as condições de serviço estipuladas: Tensão nominal 230V, entre fase e neutro e 400V entre fases, frequência 50Hz, admitindo-se uma variação da tensão e da frequência de acordo com o estipulado na norma NP EN50160. A corrente nominal deverá ser no máximo de 100A no circuito de instalação de utilização e 25A no circuito da unidade de microprodução, correspondendo este último a uma ligação de uma unidade de produção de 5,75kW.

A portinhola deverá ser fabricada segundo a norma IEC 62208 e deverá garantir os índices de protecção IP45 e IK10.

PORTINHOLA PC/P		
DIMENSÕES MINIMAS (mm)	ALTURA	330
	LARGURA	290
	PROFUNDIDADE	135

Tabela 2 – Dimensões mínimas da portinhola

3.5. Dimensionamento tipo para um sistema de produção de energia a partir de mini eólicas com ligação à rede.

3.5.1. Condições Gerais

Os sistemas com ligação à rede eléctrica podem ser integrados no Regime Produtor – Consumidor ou Regime Produtor. Um sistema de ligação à rede permite a venda de energia eléctrica às companhias distribuidoras de energia. Neste caso, toda a energia gerada é enviada directamente para a rede, não sendo necessárias as baterias, o que torna o sistema mais simples e com menor manutenção. Na publicação do Decreto-Lei 363/2007, os microprodutores vão ter a possibilidade de, a partir de fontes de energias renováveis, produzir electricidade para injectar na rede pública, no entanto, não poderão ultrapassar 50 % da potência contratada até um máximo de 3,68 kW (regime bonificado) ou 5,75 kW (regime geral). No caso de venda de energia, através de um aerogerador, este valor será facturado a 0,455 €/kWh.

No regime bonificado, o produtor de energia, terá que obrigatoriamente ter um colector solar térmico, com um mínimo de 2m².

3.5.2. Dimensionamento e selecção da turbina eólica

Quando se pretende instalar uma microeólica terá de antecipadamente haver um estudo de “engenharia” para efectuar uma selecção e dimensionamento adequado da mesma, para que o investimento feito seja adequado à futura rentabilidade do sistema. Neste estudo deverão ser analisados diversos aspectos, nomeadamente o tipo de turbina pretendida, o vento disponível no local onde será instalada a turbina e a potência que a turbina deverá ter para conseguir satisfazer a produção diária de energia, ou para uma possível venda

dessa mesma energia à rede, com base na velocidade média do vento disponível no local.
(PEREIRA, 2010)

Para conseguirmos estes dados temos de seguir os passos referidos no ponto 3.2 referentes à análise do tipo de vento que existe no local da instalação.

3.5.3. Escolha da turbina eólica

Na escolha do tipo de turbina os principais factores que se devem ter em conta são: a estabilidade do vento e a sua curva característica, potência de saída *versus* velocidade. Este gráfico é essencial para se saber qual a potência a instalar para que o micro-aerogerador seja o mais rentável possível.

Claro que de nada vale adquirir um micro-aerogerador de 3,5 ou 4 kW quando na realidade, a região onde vivemos tem velocidades de vento muito baixas. Normalmente, nos micro-aerogeradores, a sua velocidade de arranque é na ordem dos 2,5 m/s.
(PEREIRA, 2010)

Conforme o ponto 3.4.2, um dos factores que influencia a selecção e dimensionamento de uma turbina eólica é a velocidade do vento. Se este for mais estável, o rotor de eixo horizontal é o mais aconselhado devido ao seu maior rendimento. No que diz respeito à velocidade do vento, para velocidades do vento baixas (abaixo de 6 m/s) é recomendável a turbina de eixo vertical de *Darrieus*, porque este tipo de turbinas apresenta um maior binário a baixas velocidades do vento e, desde logo, um melhor comportamento a velocidade baixas quando comparada com outros tipos de turbinas. Por outro lado, quando a velocidade do vento é alta (acima dos 6 m/s) é recomendável a utilização de uma turbina de eixo horizontal caso o vento seja direccionalmente estável ou uma turbina de eixo vertical tipo *Savonius* caso o vento seja direccionalmente muito instável, visto

estas funcionarem melhor a velocidades elevadas e apresentarem um melhor rendimento.
(PEREIRA, 2010)

A figura 18 representa um gráfico que resume a selecção do tipo de turbina eólica, em função da velocidade média do vento e da estabilidade direccional.

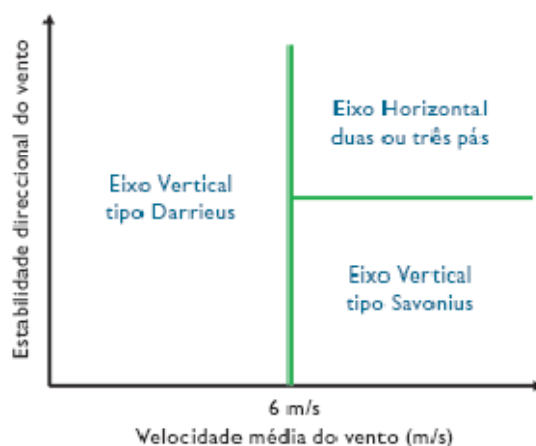


Figura 18 - selecção do tipo de turbina eólica, em função da velocidade média do vento e da estabilidade direccional. (PEREIRA, 2010)

Deverá ser tomado em consideração um terceiro factor, como a relação entre a potência de saída e valor da velocidade do vento da turbina, podendo este ser decisivo na selecção da turbina em situações em que não exista diferença considerável do rendimento entre os dois tipos de turbinas.

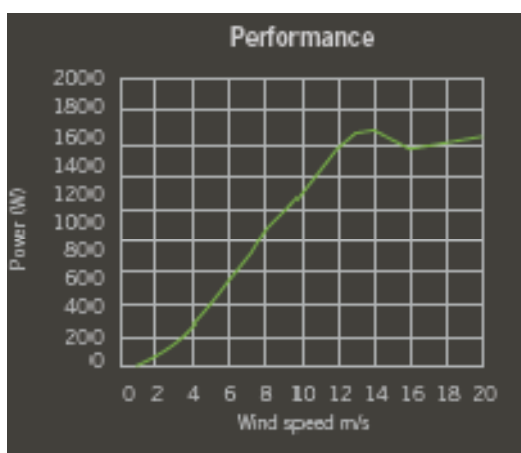


Figura 19 - Curva da característica Potencia vs Velocidade do vento do aerogerador Bornay 1500 (BORNAY, 2010)

Através da análise do gráfico da figura 19 verificamos que este micro-aerogerador atinge a potência de 600 W a 6m/s.

3.5.4. Cálculo da velocidade média do Vento para a altura da instalação

Um estudo fundamental na análise de viabilidade de um micro-aerogerador é a velocidade média do vento no local de instalação da mesma. Como se sabe a produção de energia por parte da turbina depende fortemente da intensidade do vento, pelo que se deve obter informações minimamente fiáveis antecipadamente, nomeadamente as velocidades médias do vento. Esta informação deverá ter como exemplo, uma base mensal, durante os 12 meses do ano, que é aquela que se utilizará neste caso na estimativa da produção mensal e anual de energia por parte da turbina. Para uma maior precisão na estimativa o local onde a velocidade do vento é medida deverá ser o mais próximo possível do sítio onde se vai instalar a turbina.

Para calcularmos a velocidade do vento para a altura de instalação da eólica vamos utilizar a fórmula referida no ponto 3.1.3.

3.5.5. Cálculo da potência necessária da turbina

Para a escolha da turbina um dos critérios a ter em conta é o valor da sua potência. Para este item a quantidade diária de energia eólica e a velocidade média anual do vento no local a instalar a turbina são factores importantes. Como neste caso não existe uma necessidade energética para consumo próprio, pois trata-se de um sistema ligado à rede, apenas iremos necessitar do valor de $V(Z)$ anteriormente calculado no ponto 3.4.4.

3.5.6. Cálculo da potência produzida anualmente

As turbinas eólicas são caracterizadas por gerar uma potência máxima a uma determinada velocidade acima da qual, esse valor se mantém constante. A potência máxima é intitulada de potência nominal e quando a velocidade do vento para a qual esta é atingida é ultrapassada a turbina é regulada para funcionar a potência constante, sendo para tal provocada artificialmente uma diminuição no rendimento da conversão.

Na curva de potência do aerogerador verifica-se a potência nominal, a velocidade de arranque e a velocidade de paragem. Através da curva de potência e recorrendo à distribuição da velocidade do vento através da distribuição de Rayleigh é possível determinar a energia obtida anualmente:

$$E_{anual} (kWh) = 8760 \times \sum_{cut-in}^{cut-out} P(u) \times f(u)$$

Onde:

cut – in é a velocidade de arranque do aerogerador;

cut – out é a velocidade máxima do aerogerador quando começa a perder característica;

$$P(u) = \frac{1}{2} \times A \times \rho \times u^3 \times C_p$$
$$f(u) = \frac{\pi}{2} \times \frac{u}{u_{ma}^2} e^{-\frac{\pi}{4} \left(\frac{u}{u_{ma}} \right)^2} \quad u \geq 0$$

3.5.7. Dimensionamento do Rectificador

A conversão de CA para CC poderá ser de onda completa ou de meia onda, consoante se utilizam as duas alternâncias ou apenas uma alternância da tensão alternada sinusoidal, respectivamente. Dependendo dos dispositivos semicondutores utilizados (díodos, transístores/tirístores), o rectificador poderá ter maior ou menor grau de controlo – rectificador totalmente controlado, semi-controlado ou não controlado.

O rectificador eólico tem como principal função de rectificar a corrente em AC para DC. Normalmente quando estamos perante sistemas híbridos, isto é, energia eólica e solar fotovoltaica para alimentar sistemas isolados (com baterias), é utilizado um equipamento denominado Regulador Eólico. Este tem duas funções, evitar sobrecargas nas baterias e evitar que a energia flua em sentido inverso quando não há vento.

Um regulador eólico tem incorporado um rectificador AC-DC de forma a permitir saídas em tensão nas seguintes gamas (consoante a potência do aerogerador): 12 – 24 – 36 – 48 – 120 e 300 VDC.

Para a escolha do regulador eólico, este terá de ser previsto para o valor da corrente:

$$I_{MAX.DC} = \frac{P_{MAX}}{U_{DC MAX}}$$

3.5.8. Dimensionamento do Inversor

O lado DC do circuito deve incluir um disjuntor de acordo com a norma DIV VDE 0100-712, na qual seja permitido a desconexão do gerador ao inversor. (PEREIRA, 2010)

Na escolha do inversor há que ter em conta duas características:

- ↯ A potência nominal do inversor define a potência do sistema eólico;
- ↯ A potência nominal do inversor deverá ser sempre inferior à potência de pico do aerogerador.

O intervalo de potencia deverá estar entre:

$$0,7 \times P_{eolica} < P_{InvDC} < 1,2 \times P_{eolica}$$

Outra das características na escolha do inversor prende-se com a sua eficiência de conversão ou rendimento. A eficiência da conversão relaciona a potência de entrada com a potência de saída do inversor, pela seguinte expressão:

$$\eta = \frac{P_{AC}}{P_{DC}}$$

Onde P_{AC} é a potência de saída efectiva e P_{DC} é a potência de entrada efectiva.

O valor mais usual deste rendimento apresenta valores entre 86% e 95%.

Caso o inversor possua na saída um transformador, não necessitará de um diferencial de 30mA na saída. (PEREIRA, 2010)

Quando as potências de saída ultrapassarem os 10kW de potência dever-se-á utilizar um inversor para cada equipamento específico de consumo. Isto prende-se com o facto de que se o inversor deixar de funcionar, os outros continuaram a funcionar normalmente. (PEREIRA, 2010)

3.5.9. Dimensionamento de cabos DC e AC

No dimensionamento dos cabos devem ser observados três critérios essenciais: o cumprimento dos limites fixados pela tensão nominal e pela intensidade de corrente máxima admissível do cabo, bem como a minimização das perdas.

Em corrente continua os cabos devem ser bem dimensionados devido a:

- ↪ Esforços electrodinâmicos (correntes paralelas no sentido inverso);
- ↪ Aquecimento por efeito joule ($P_j = R \times I^2$);

Os condutores de polaridade negativa e positiva deverão ser independentes, ou seja não devem ser agrupados num só cabo.

Os cabos para uma instalação de venda de energia à rede pública podem ser divididos em:

- ↪ Cabos AC do aerogerador ao rectificador;
- ↪ Cabos DC do rectificador ao Inversor;
- ↪ Cabos AC do inversor para ligação ao Ramal AC

Cabos AC do aerogerador ao rectificador

Considera-se que a queda de tensão máxima desde a turbina até ao rectificador não deve ser superior a 1%. Torna-se necessário percorrer as três fases para ligar o aerogerador ao rectificador. Para dimensionarmos a secção dos cabos para ligação do aerogerador ao rectificador utilizamos a fórmula seguinte:

$$S_{fase} (mm^2) = \frac{L_{fase} \times I_{fase}}{1\% \times U_{fase} \times \sigma}$$

Em que:

U_{fase} e I_{fase} representam a tensão e a corrente nominal em cada fase do gerador,

L_{fase} é o comprimento do cabo

$\sigma (m / \Omega \times mm^2)$ é a condutividade eléctrica do material do qual é feito o cabo.

O resultado obtido é arredondado para a secção normalizada do valor imediatamente superior ao obtido. Para além das condições de tensão e corrente regulamentares, os condutores deverão apresentar ainda protecção com raios UV.

Cabos de ligação do rectificador ao inversor

O cabo principal DC estabelece neste caso a ligação entre o rectificador e o inversor. Quando a caixa de junção do gerador se encontra no exterior, o referido cabo deve ser entubado de modo a garantir a protecção contra os raios UV.

Cabos DC

Os cabos são fornecidos frequentemente nas cores vermelha, azul e preta, de forma a permitir uma maior compreensão do desenho da instalação. Seguidamente são indicadas algumas características mais usuais deste tipo de cabo e qual o cabo a utilizar neste tipo de instalações.

Estabilidade Mecânica	Compressão, tensão, torção e dureza
Resistência climatérica	Resistência aos raios UV e ao ozono num traçado exterior desprotegido, comportamento térmico (temp. 70°C no telhado e 55°C no sótão)
Protecção contra contactos directos e indirectos	Linha individual com duplo isolamento

Tabela 3 - Propriedades dos cabos DC (PEREIRA, 2010)

Sempre que houver possibilidade de opção os cabos de policloreto de vinilo (PVC) não deverão ser usados no exterior. O material halogeneizado PVC é frequentemente utilizado nas instalações eléctricas. Tendo em consideração os impactos no ambiente, deverão ser escolhido produtos isentos de halogéneos.

Por razões associadas à protecção contra falhas de terra e curto-circuitos recomenda-se o uso de cabos monocondutores, isolados para as linhas positivas e negativas. Se forem usados cabos multicondutores, o condutor de protecção verde/amarelo não deverá estar sujeito a qualquer tensão. Para as instalações de microgeração expostas ao risco de relâmpagos, deverão ser usados cabos blindados. Os cabos devem ser encaminhados de modo a que a sua integridade mecânica nunca seja posta em causa. (PEREIRA, 2010)

➤ **Características técnicas dos cabos DC:**

Tensão nominal, UN:

- ↪ 300 a 1000V;
- ↪ Resistência a temperaturas de -10°C;

Corrente admissível, IZ:

- ↪ De acordo com a norma IEC 60364-7-712 deve ser: $IZ = 1,25 \times I_{REG.Eólico}$ e protegido contra falhas à terra e contra CC;

Condições Ambientais:

- ↪ Suportar temperaturas superiores a 70°C;
- ↪ Resistência aos raios UV se instalado no exterior;

Queda de Tensão:

- ↪ A queda de tensão Max. De 1% para sistemas ligados á rede;
- ↪ Quando são distâncias muito grandes e quando são tensões baixas ($< 120V, CC$) assume-se uma queda de tensão próxima dos 3%;

➤ **Calculo da secção pelo método da queda de tensão:**

A fórmula a usar é a que já foi anteriormente referida atrás:

$$S_{DC} (mm^2) = \frac{2 \times L_{DC} \times I_{DC}}{1\% \times U_{DC} \times \sigma}$$

Onde S_{DC} secção do cabo em mm^2 , L_{DC} comprimento do cabo, I_{DC} é a corrente nominal proveniente do rectificador, σ a condutividade do condutor (se o condutor for em cobre o valor de $\sigma = 56m / \Omega mm^2$) e U_{DC} é o valor da tensão proveniente do rectificador. O factor 2x prende-se com o facto de ser um condutor de ida e volta.

O valor calculado para a secção transversal do cabo principal em DC é arredondado para o maior valor aproximado das secções transversais standard disponíveis no mercado $2,5\text{ mm}^2$, 4 mm^2 , 6 mm^2 , 10 mm^2 , 16 mm^2 , 25 mm^2 , 35 mm^2 .

Cabos de ligação do inversor à rede receptora

Para o cálculo da secção transversal do cabo de alimentação AC, assume-se uma queda de tensão máxima admissível na linha de 3% relativamente à tensão nominal da rede.

A secção transversal do cabo AC para uma instalação monofásica é calculada da seguinte forma:

$$S_{AC}(\text{mm}^2) = \frac{2 \times L_{AC} \times I_{nAC} \times \cos \varphi}{3\% \times U_N \times \sigma}$$

Para uma instalação trifásica basta alterar o 2 por $\sqrt{3}$

Na fórmula $L_{AC}(m)$ é o comprimento do cabo do ramal, $V_N(V)$ e $I_n(A)$ que representam, respectivamente, a tensão nominal na rede e a corrente nominal AC do inversor e $\sigma(m/\Omega \times \text{mm}^2)$ é a condutividade eléctrica. O resultado obtido em $S_{AC}(\text{mm}^2)$ é arredondado para o valor mais próximo da secção de cabo standard disponível.

As perdas são determinadas a partir da seguinte fórmula:

$$Perdas_{AC}(W) = \frac{2 \times N \times L_{AC} \times I_{nAC}^2 \times \cos \varphi}{S_{AC} \times \sigma}$$

O cabo de ligação de corrente alternada liga o inversor à rede receptora, através do equipamento de protecção. No caso dos inversores trifásicos a ligação à rede de BT é efectuada com um cabo de cinco pólos. Para os inversores monofásico só é usado um cabo de três pólos.

Equipamentos de Protecção AC

- ↪ **Disjuntores** - são aparelhos de protecção contra sobreintensidades, que podem voltar a ser rearmados depois de disparar. Isolam automaticamente o sistema de microgeração da rede eléctrica caso ocorra uma sobrecarga ou um curto-circuito.
- ↪ **Disjuntores diferenciais** - são aparelhos de protecção sensíveis à corrente residual diferencial. Estes dispositivos “observam” a corrente que flui nos condutores de ida e de retorno do circuito eléctrico. Caso a diferença entre ambas as correntes ultrapassem os 30mA estes actuam isolando o circuito em menos de 0,2s. Este dispositivo será activado quando ocorrer uma falha de isolamento, um contacto directo ou indirecto.

3.5.10. Dimensionamento do interruptor AC de isolamento do aerogerador

A interrupção de correntes AC é menos exigente do que a interrupção de correntes DC. É recomendável que se opere o interruptor DC após o isolamento do circuito AC. O interruptor AC apresenta uma forma de isolar manualmente o aerogerador. Esta acção é necessária durante a instalação, manutenção e reparação do aerogerador.

Desta forma é cumprida a norma IEC 60364-7-712, que exige um interruptor de acesso manual entre o aerogerador e o inversor. Para um isolamento eficaz do circuito que liga o aerogerador ao rectificador o interruptor AC a incluir deverá ser tripolar, bem como possuir um elevado poder de corte de modo a que a sua abertura seja efectuada do modo mais seguro possível.

3.5.11. Protecção contra descargas atmosféricas nos sistemas ligados à rede eléctrica nacional de BT

Protecção contra descargas directas

O sistema de microgeração, na maioria dos casos, não contribui para o aumento de risco de ocorrência de descargas atmosféricas directas. Como tal não se torna forçosa a instalação de um sistema de protecção adicional quando a instalação do sistema ocorre num edifício que já se encontra protegido. No entanto, perante um sistema de grande dimensão e instalado no ponto mais alto de um edifício, sujeito a uma forte exposição, poderá ser necessária a instalação de um sistema de protecção próprio.

A estrutura de suporte do aerogerador além de elemento condutor, poderá se considerada como um captor natural de descargas atmosféricas, pelo que deve ser ligado a um condutor de terra.

Convém também referir que a interligação do terminal de terras (TPT) com a ligação da torre do aerogerador à terra só é possível se o valor da resistência de terra for inferior ou igual a 10Ω .

É também obrigatória a instalação de uma protecção diferencial na ligação do inversor ao contador no caso da microprodução e se o inversor não for dotado de transformador na sua construção. Por razões de segurança devem existir avisos de PERIGO DE TENSÃO na entrada do inversor.

O sistema de protecção será constituído por um dispositivo de captação, um condutor de cobre de secção mínima de $16mm^2$ para escoar a descarga, a um sistema de ligação à terra.

Protecção contra descargas indirectas

A probabilidade de um edifício ser afectado por uma descarga indirecta é muito maior do que a probabilidade deste ser afectado por uma descarga directa. O sistema eólico durante o tempo de vida útil sofrerá diversos efeitos indirectos causados por descargas atmosféricas.

Segundo a norma IEC 364-5-54 um dos requisitos para a protecção de instalações eléctricas contra descargas atmosféricas é a ligação equipotencial dos elementos condutores.

Em sistemas expostos a descargas atmosféricas deverão ser utilizados cabos protegidos correctamente contra curto-circuitos. Recomenda-se o uso de cabos blindados de cobre e com uma secção mínima de 16mm^2 sendo o extremo superior da blindagem ligado à torre do aerogerador, segundo o traçado mais curto possível.

3.5.12. Ligação à terra dos componentes do sistema de microgeração

O condutor geral de protecção deve encontrar-se separado dos restantes cabos eléctricos a fim de evitar descargas de indução provocadas por estes. A sua ligação ao eléctrodo de terra deverá ser efectuada pelo caminho mais curto e, se possível, em linha recta e vertical. O eléctrodo de terra deverá ser constituído por fitas de cobre ou aço galvanizado enterradas a mais de 0,8m da superfície do solo, ou que possuam uma superfície de contacto à terra de no mínimo 1m^2 .

Na figura seguinte é apresentado um esquema de ligações à terra do aerogerador através da ligação ao circuito geral de protecção de terras

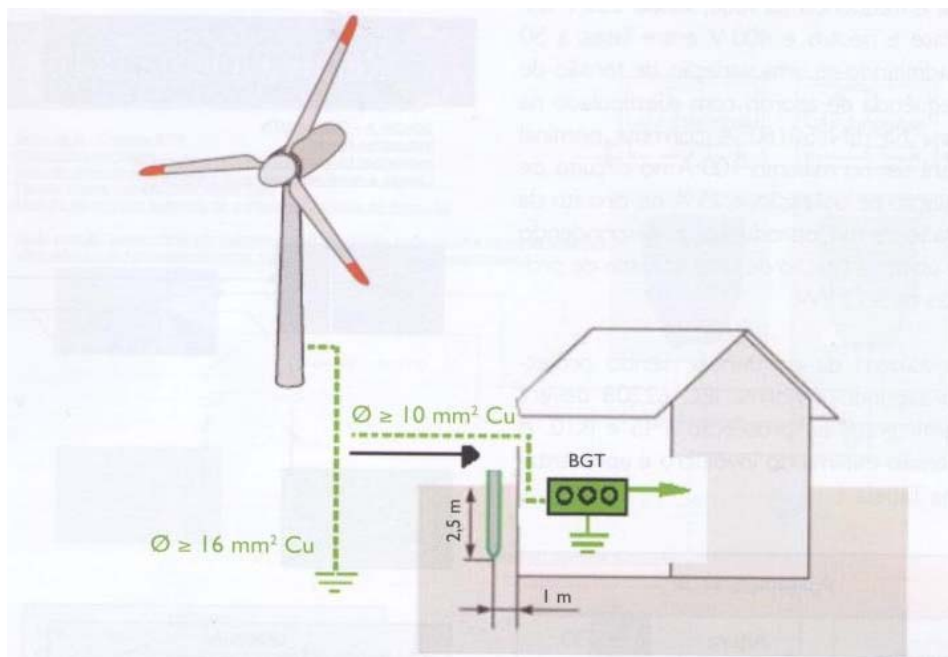


Figura 20 – Esquema de ligação à terra da torre do aerogerador.

Ligações equipotenciais

Todas as canalizações ou estruturas condutoras enterradas (água, esgotos, ar comprimido, electricidade e telecomunicações) cujo traçado se situe a menos de 3m de qualquer ponto do conjunto de eléctrodos de terra, devem ser interligados com esse conjunto de eléctrodos por meio de condutores de cobre (secção $\geq 16\text{mm}^2$), de ferro galvanizado ou de aço inoxidável (secção $\geq 50\text{mm}^2$).

3.5.13. Ligação à rede pública de BT

A ligação à rede pública de BT já foi abordada no ponto 3.3.

3.5.14. Portinhola

Acerca das características técnicas para a portinhola, estas já foram referidas no ponto 3.3.

Na figura 21 é apresentado o esquema de ligação de uma unidade de microprodução à RESP, sendo esta solução preferencial. No caso da unidade de microprodução utilizar uma instalação já existente com unidade de consumo, o contador de consumo e o contador de produção são ligados à nova PC/P sendo a antiga portinhola utilizada como caixa de passagem, figura 22.

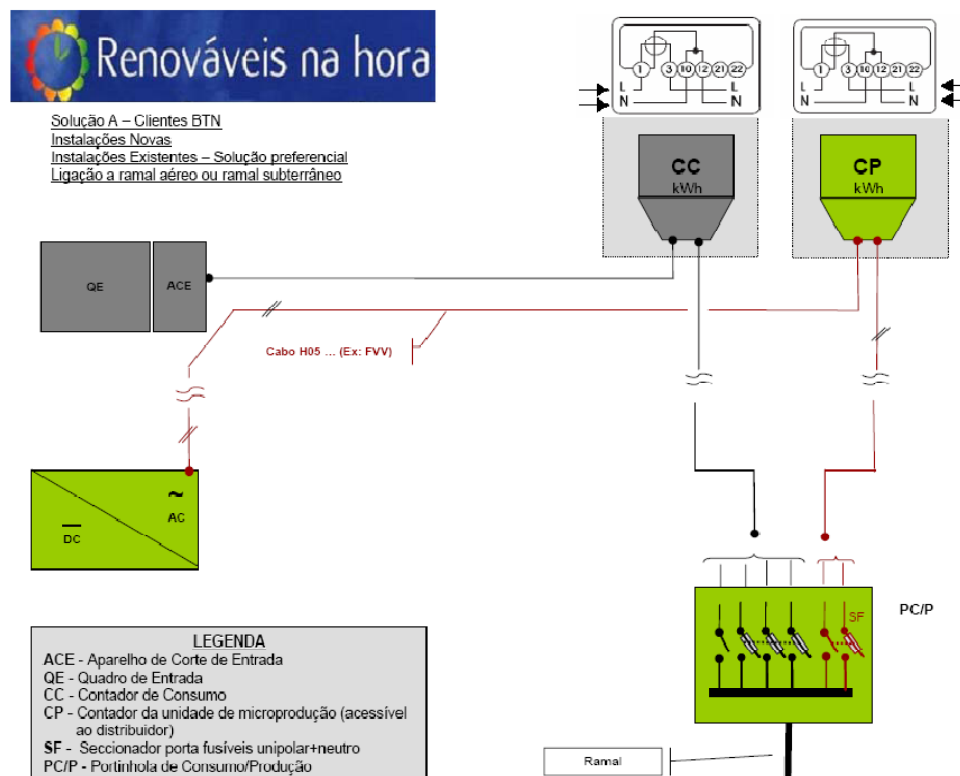


Figura 21 – Ligação à RESP de uma unidade de consumo de uma instalação nova (JAPP, 2009)

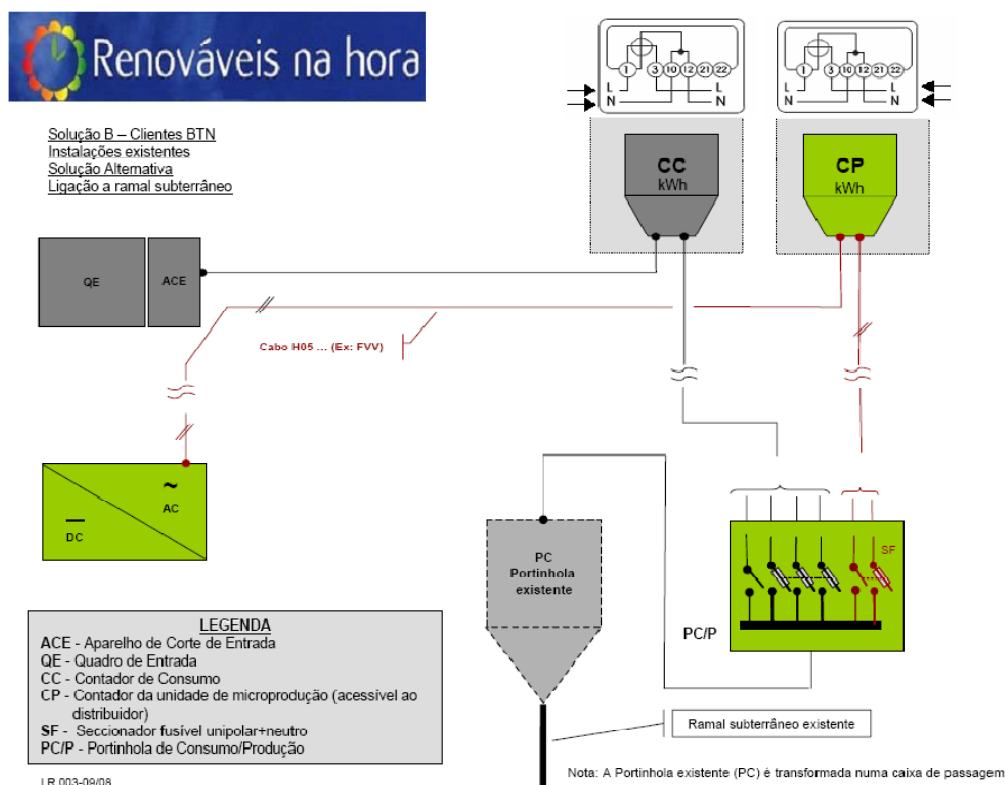


Figura 22 - Ligação à RESP de uma unidade de consumo de uma instalação existente (JAPP, 2009)

Em casos excepcionais pode-se proceder à ligação do contador de consumo ao contador de produção, sendo depois a partir deste efectuada a ligação à portinhola de consumo como se pode observar na figura 23. Neste caso a secção dos condutores de interligação do contador de produção ao contador de consumo deve ser dimensionada para a potência máxima admissível da instalação de consumo. De notar nesse caso que o seccionador fusível referente à produção encontra-se junto à entrada do contador de produção.

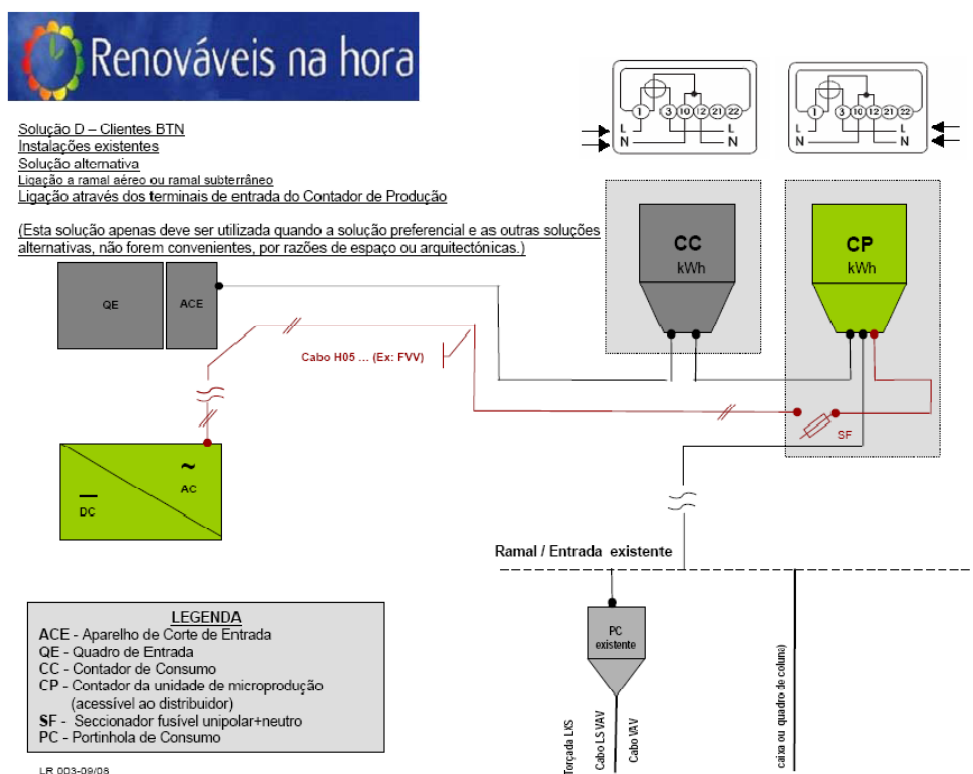


Figura 23 - Ligação à RESP de uma unidade de consumo de uma instalação existente(JAPP, 2009)

São exigidas nas vistorias portinholas do tipo PC/P, sendo permitido outro tipo de ligação ainda mais simples apenas em situações excepcionais, nas quais é impossível instalar uma nova portinhola, sendo exemplos disso os edifícios de património arquitectónico, nos quais é impossível alterar a fachada, ou situações de falta de espaço.

3.5.15. Contador de Energia

O contador de energia a utilizar deverá de ser aprovado pela EDP e fornecido com um modem GSM para cumprir com as exigências da lei acerca da telecontagem.

A contagem da energia será efectuada por telecontagem e para tal são utilizados os seguintes equipamentos:

1. Modem GSM FARGO MAESTRO 100

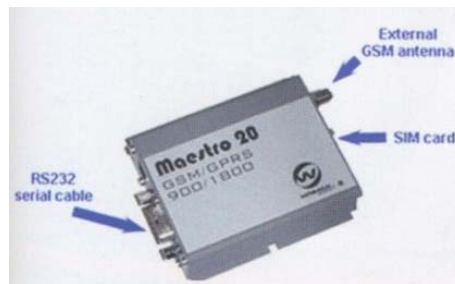


Figura 24 - Modem GSM MAESTRO (PEREIRA, 2010)

2. Fonte de alimentação externa, modelo NES-15-12

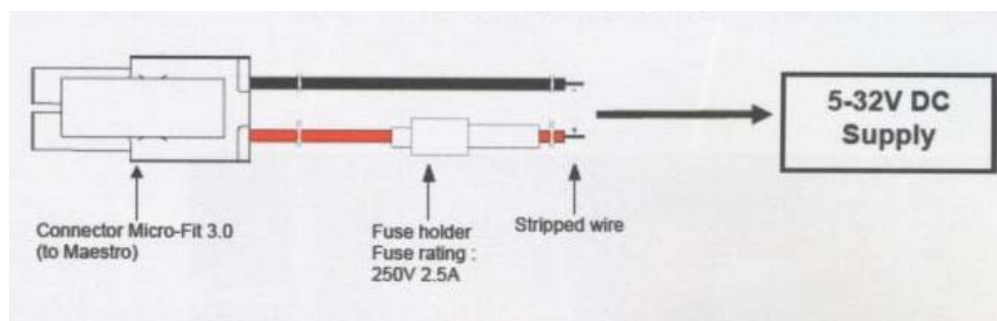


Figura 25 - Fonte de alimentação externa (PEREIRA, 2010)

3. Antena externa, modelo: AM-04 900/1800 MHz, 4,5 & 6,5 dBi – SMA

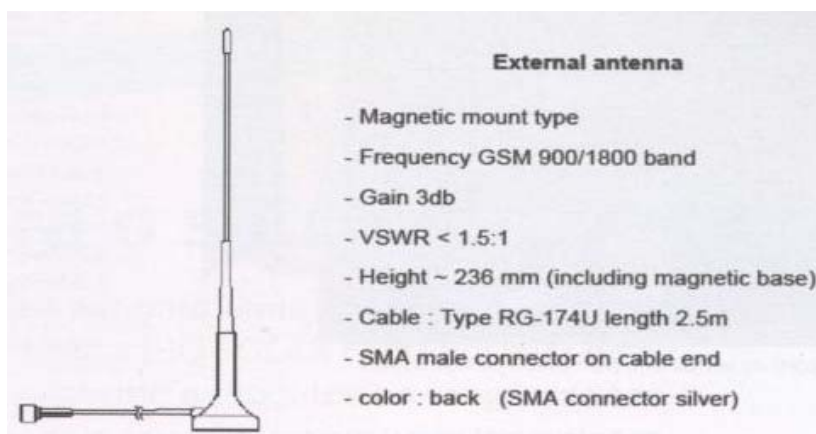


Figura 26 - Antena externa (PEREIRA, 2010)

CAPITULO 4

Software de aplicação

Um dos objectivos desta tese era realizar um *software* de aplicação para apoio ao projecto de uma instalação eólica num edifício urbano.

Para isso foi desenvolvido um *software* em linguagem JAVA, utilizando um *software* *freeware* NETBEANS onde foi realizado o código.

Para a realização do programa, foi utilizado uma base de dados fornecida pelo Instituto de Meteorologia, IP Portugal, que contém os dados da velocidade média, a altura de medição. Para sabermos qual a potência anual produzida, o utilizador terá de introduzir alguns dados do aerogerador que pretende instalar.

Em baixo é apresentado o layout do programa

The image shows a screenshot of a Java-based application window titled "Simulator". The window has a menu bar with "Ficheiro" and "Gerir". The main area is divided into three sections: "Regime Contratual", "Local da Instalação", and "Características da Eólica".

Regime Contratual	Local da Instalação	Características da Eólica	
Regime Contratual: Geral (dropdown)	Local da Instalação: (dropdown)	Velocidade Cut-in (m/s)	Potência Eólica (kW)
Potência Contratada: (dropdown)	Altitude da Instalação (m): (text input)	Velocidade Cut-Out (m/s)	Diâmetro do Rotor (m): (text input)
Rugosidade de terreno: (dropdown)	Altura da Torre (m): (text input)	CP conhecido? <input checked="" type="checkbox"/>	Coefficiente de Potência (CP): (text input)
Potência Máxima para Produção (kW): (text input)		Qt. de eólicas: (text input)	Limite de Betz
Velocidade média do vento no Local (m/s): (text input)		Potência do inversor: (text input)	
Energia Anual Produzida (kW/Ano): (text input)			
Cálculo da Energia Anual (button)			

Figura 27 – Layout do programa.

A estrutura do programa está dividida em 3 partes:

3.1. Dados contratuais

Esta primeira parte é referente ao dados da instalação aonde iremos realizar a montagem do aerogerador, onde o utilizador tem de escolher qual o regime que vai optar conforme o decreto-lei 363/2007. Após essa selecção terá de escolher a potência que tem contratada, para ser cumprido o decreto-lei.

A produção máxima que pode produzir irá aparecer no campo Potência máxima de produção permitida.

Com estes dados o utilizador já sabe que está limitado a produzir aquela potência máxima, que aparece no campo de geração máxima e pode depois escolher o aerogerador mediante a potência produzida.

3.2. Dados do local da instalação

Nesta zona do programa o utilizador, irá inserir o local da instalação, a altura da instalação, altura da torre onde vai ser instalado o aerogerador, foi considerada uma altura mínima da torre de 3,5m de altura, o tipo de terreno onde está localizada a eólica, para ser determinada a rugosidade do terreno.

Após a selecção destes campos vai ser calculada a velocidade média no local de instalação.

3.3. Características da eólica

Depois de efectuados os passos atrás referidos, o utilizador irá inserir os dados do aerogerador que estão disponíveis nas fichas técnicas dos mesmos. Os dados que o utilizador deverá inserir são a Potência do aerogerador, diâmetro do rotor, a velocidade

Cut-in (velocidade para qual o aerogerador começa a funcionar), a velocidade *Cut-out* (velocidade para a qual o gerador começa a perder rendimento). Haverá um campo que será o Coeficiente de Potência, C_p caracteriza o nível de rendimento de uma turbina eólica (Uma turbina de um aerogerador bem desenhado consegue ter 25% - 40% de eficiência.). Se na ficha de características do aerogerador não vier discriminado este rendimento o utilizador deixará em branco a selecção “CP conhecido” e o valor a ser considerado será o limite de *Betz* que é 59,3%.

O utilizador poderá também escolher a quantidade de aerogeradores que quer instalar para cumprir a potência máxima a entregar á rede, no campo onde diz quantidade de eólicas.

Após estes dados estarem inseridos e ao clicar no Botão CALCULAR, irá ser determinada a energia anual produzida mediante a serie de Rayleigh.

Será também apresentado o intervalo da Potência do Inversor para o qual o utilizador deverá escolher o inversor a utilizar na instalação após a consulta aos diversos fabricantes.

CAPITULO 5

Conclusão

A produção de energia eólica em Portugal apresenta um desenvolvimento considerável podendo-se verificar no final do ano de 2009 que a potência eólica ligada ao SEN era de 20%. (REN, 2010). No entanto, a aplicação da energia eólica no panorama da microgeração encontra-se pouco divulgada, estando no presente momento a decorrer vários estudos e desenvolvimentos tecnológicos para facilitar uma possível expansão do aproveitamento deste recurso. A dificuldade de expansão deste tipo de aproveitamento para microgeração prende-se ao facto de existirem diversos factores adversos, como por exemplo: a dificuldade de se obter um mapeamento do recurso eólico na cidade, a inexistência de modelos de comportamento do vento nas coberturas e ainda o facto do preço de um anemómetro para medir, o vento ser equivalente ao de uma eólica.

Os aerogeradores a utilizar em ambiente urbano têm de ser concebidos para esse efeito. Estes têm de ter um *design* que não prejudique a arquitectura do edifício, nem prejudique a paisagem que o rodeia. No entanto a gama de fabricantes existentes de aerogeradores a utilizar num ambiente urbano é pequena. (ESTANQUEIRO, 2008)

A montagem dos aerogeradores nos telhados dos edifícios é um tema bastante controverso, independentemente do tamanho dos aerogeradores, devido ao facto de que todos os aerogeradores vibram e transmitem vibrações às estruturas onde estão montados. Todos os telhados criam uma forte turbulência que diminui a vida do aerogerador. Mesmo que exista um sistema de amortecimento que faça o isolamento do aerogerador à estrutura, não se consegue evitar a turbulência e ligeira vibração proveniente do aerogerador, o que poderá danificar a estrutura do edifício. (GIPE, 2000)

A maior parte das turbinas desenhadas para a integração em edifícios não ultrapassa os 10kW de potência, visto que para se atingir maiores potências seriam precisas grandes turbinas, dificultando assim a sua integração (RAVARA BELLO, 2009).

Com todas estas abordagens há uma variedade de questões que precisam ser resolvidas para a instalação de eólicas em ambiente urbano. Estas incluem a simplificação da ligação à rede, questões de planeamento, bem como desenvolver aerogeradores de alta fiabilidade, mínima vibração, modo de funcionamento silencioso e seguro e baixa manutenção.

Para haver um largo interesse na utilização desta energia renovável terá de existir uma significativa redução no preço dos aerogeradores. Quando isso acontecer, poderá haver um aumento substancial da instalação de micro-turbinas em edifícios, que poderá ter um papel importante a desempenhar na redução das emissões de CO₂ dos edifícios.

Custos de Instalação/investimento	~1000 €/kW
Custos de manutenção e operação	~ 0,05 €/kWh
Disponibilidade comercial	Moderada ¹
Tempo de vida útil	20 Anos
Impactos Ambientais	Moderados, devido ao ruído e à pegada visual

Tabela 4 - Resumo de características da energia eólica (RAVARA BELLO, 2009)

A produção de energia eléctrica recorrendo a aproveitamentos renováveis de pequena escala encontra-se como uma das soluções a adoptar na promoção do desempenho energético nacional. A redução de perdas na rede de transporte, o aumento da fiabilidade no fornecimento de electricidade são vantagens inerentes deste tipo de produção. Importa referir que associada a esta encontra-se uma mudança de paradigma do sistema energético,

¹ Existem muitas marcas a comercializar turbinas para aplicação em residências, contudo em Portugal o mercado ainda é pouco conhecido.

uma vez que o seu aumento conduz a uma descentralização da produção, onde as redes de BT apresentarão cada vez mais protagonismo.

O sector da microgeração eólica pode ter uma contribuição importante na produção distribuída doméstica em Portugal, quer numa vertente puramente energética, quer numa vertente tecnológica, com o potencial envolvimento de empresas nacionais na industrialização, optimização e produção das tecnologias e *know-how* já desenvolvido pelo sistema científico nacional. Como qualquer sector inovador, também a penetração destas tecnologias no mercado não é isenta de desafios apontando-se como a mais relevante a extrema dificuldade em caracterizar o recurso eólico em ambiente urbano, quando as normais metodologias de base experimental utilizadas na avaliação energética de parques eólicos, se afiguram impraticáveis face à reduzida escala do investimento em micro-turbinas. (ESTANQUEIRO & SIMÕES, 2010)

REFÊRENCIAS BIBLIOGRAFICAS E OUTRAS

Ackermann, T. (2005). *Wind Power in Power Systems*. ISBN 0-470-85508-8: John Wiley & Sons.

AG, SMA Solar Technology. (2010). *WINDY BOY 1200 / 1700 - Manual de instalação*. Alemanha: SMA Solar Technology AG.

ALMEIDA, E. M. (2002). *Microgeração Eólica*. Porto.

BORNAY. (2010). Join the Bornay experience. Castalla, Alicante, Espanha.

CAMUS, C. I. (30 de Novembro de 2007). Obtido em 6 de Outubro de 2010, de Instituto Politecnico de Lisboa: <http://pwp.net.ipl.pt/deea.isel/ccamus/Doc/eolicaresumo.pdf>

Castro, R. M. (2009). *INTRODUÇÃO À ENERGIA EÓLICA*. Lisboa.

CEETA. (2001). *Centro de Estudos em Economia da Energia dos Transportes e do Ambiente*. Obtido em Junho de 2010, de <http://www.cceeta.pt>

COSTA, P. P. (2006). "Development and Validation of the Portuguese Wind Atlas". *Proceedings of the European Wind Energy Conference* (p. paper 841). <http://www.ewec2006proceedings.info/>.

DGEG. (2008). Obtido em 6 de Junho de 2010, de <http://www.dgge.pt/>

DUTRA, R. (2007). *CRESESB*. Obtido em 10 de Junho de 2010, de CRESESB: http://www.cresesb.cepel.br/tutorial/tutorial_eolica_e-book.pdf

EDP Energias de Portugal. (2009). Obtido em 8 de Junho de 2010, de <http://www.edp.pt/pt/particulares/faqs/Pages/Microprodu%C3%A7%C3%A3o.aspx>

ESTANQUEIRO, A. (Junho de 2008). *Energia Eólica em Ambiente Urbano e Construído*. Lisboa.

ESTANQUEIRO, A., & SIMÕES, T. (2010). APROVEITAMENTO DE ENERGIA EÓLICA EM AMBIENTE URBANO CONSTRUÍDO. *RENOVÁVEIS MAGAZINE*, 44-48.

GIPE, P. (2000). *Energia Eólica Prática*. Espanha: PROGENSA.

JAPP. (2009). *JAPP - Energias e Hidraulica*. Obtido em 3 de Setembro de 2010, de <http://www.japp.pt/doc.php?co=44>

MANWELL, J. M. (2009). *Wind energy explained : theory, design and applications; Second Edition*. ISBN 978 0-470-01500-1: John Wiley & Sons.

MASTERS, G. M. (2004). *Renewable and efficient electric power system*. ISBN 0471280607: John Wiley & Sons.

MEI, M. d. (2007). Obtido em Junho de 2010, de Ministério da Economia e Inovação: http://www.min-economia.pt/document/Energia_Alteracoes.pdf

Muller, S. D. (Maio / Junho de 2002). Doubly Fed Induction Generator Systems for Wind Turbines. *IEEE Industry Applications Magazine* , pp. 26-33.

PATEL, M. R. (2006). *Wind and Solar Power Systems: design, analysis, and operation*. ISBN 0-8493-1570-0: Taylor & Francis.

PEREIRA, F. (Abril de 2010). Energias Renováveis. *Dimensionamento de um sistema de venda de energia eléctrica à rede* , pp. 68-72.

QUASCHNING, V. (2005). *Understanding Renewable Energy Systems*. Uk e USA: Earthscan.

RAMPAGE, J. (2003). *Guia da Energia : Um guia prático para os aspectos mais importantes da energia*. Lisboa: MONITOR - Projectos e Edições, Lda.

RAVARA BELLO, F. M. (2009). *Integração em Edifícios de Sistemas de micro-geração*. Lisboa.

REN. (19 de Março de 2010). *Centro de Informação REN*. Obtido em 10 de Outubro de 2010, de REN - Rede Electrica Nacional: <http://www.centrodeinformacao.ren.pt/PT/publicacoes/EnergiaEolica/A%20Energia%20E%C3%B3lica%20em%20Portugal%20-%202009.pdf>

Saraiva, J. T., Lopes, J. P., Hatziargyriou, N., & Jenkins, N. (2003). *EU-Cluster "Integration of RES + DG"*. Obtido em Junho de 2010, de <http://www.clusterintegration.org/>:

<http://www.microgrids.eu/micro2000/presentations/6.pdf>

Sucena Paiva, J. P. (2007). *Redes de energia eléctrica : uma análise sistémica*. Lisboa: IST Press.

Windfinder.com. (s.d.). *windfinder.com*. Obtido em Setembro de 2010, de http://www.windfinder.com/windstats/windstatistic_porto.htm

ZENTI. (s.d.). *Zenti-Energies*. Obtido em Julho de 2010, de <http://www.zenit-energies.com/eole.php>

ANEXOS

Anexo 1 - Dimensionamento de uma instalação de produção de energia a partir de mini eólicas com ligação á rede

Vamos considerar o seguinte problema:

Um cliente quer instalar um sistema de produção de energia a partir de uma mini-eolica com ligação á rede. O edifício fica situado na zona de Matosinhos, tem uma altura de 8m. O cliente vai optar pelo regime bonificado, visto que já tem instalado no edifício um painel solar térmico. A potência que tem contratada é de 10,35 kVA. Sabe-se que a distância onde vai ficar a mini-eólica e o local onde se pretende ter os componentes de controlo é de 6m.

Resolução:

Condições Gerais:

Através do Decreto-Lei 363/2007 sabemos que para o regime bonificado a quantidade de energia eléctrica produzida não poderá ultrapassar os 50% da potencia contratada e terá um máximo de 3,68 kW, vamos de seguida verificar qual a potencia máxima que o cliente pode produzir:

$$P_{prod} = P_{cont} \times 50\% \Leftrightarrow P_{prod} = 10,35 \times 50\% \Leftrightarrow P_{prod} = 3,68kW$$

Podemos verificar que a potência máxima a injectar na rede P_{prod} é de 3,68kW.

↳ Dimensionamento e selecção da turbina eólica

Foi realizada uma medição do vento durante 1 ano e chegou-se á conclusão que a velocidade média anual no local de instalação é de 3,89m/s.

Esta velocidade foi determinada através da instalação de um anemómetro a 10m de altura.

↳ Escolha da turbina eólica

No sistema em análise, será utilizado um micro-aerogerador com uma potência de 3 kW da empresa JBornay.

Vamos verificar as características do aerogerador:

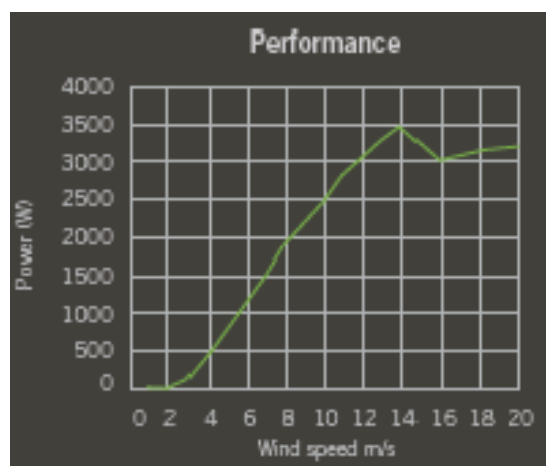


Figura 28 – Curva da característica do aerogerador

Através da análise do gráfico da figura 27 verificamos que este micro-aerogerador atinge a potência de 1200 W a 6m/s.

Este micro-aerogerador apresenta as seguintes características:

- Potência Nominal: 3 kW
- Velocidade de Cut-in [m/s]: 3.5
- Velocidade de Cut-out [m/s]: 14

- Velocidade Limite [m/s]: 60
- Potência Nominal aos [m/s]: 12
- Tipo de Rotor: Downwind, auto-regulado
- Número de Pás: 2
- Material das Pás: Fibra de vidro e de carbono
- Diâmetro do Rotor [m]: 4
- Tipo de Gerador: Sem Escovas, transmissão directa

↪ Cálculo da velocidade média do Vento para a altura da instalação

Vamos saber qual será a velocidade do vento á altura em que estará o aerogerador:

$$V(Z_{ref}) = 3,89 \text{ m/s}$$

$$Z_{ref} = 10 \text{ m}$$

$$Z = \text{altura da montagem} + \text{altura da coluna}$$

$$\alpha - \text{rugosidade do terreno} - \text{povoação} (1,5)$$

$$V(Z) = V(Z_{ref}) \times \left(\frac{Z}{Z_{ref}} \right)^\alpha \Leftrightarrow 3,89 \times \left(\frac{8+6}{10} \right)^{1,5}$$

$$V(Z) = 6,44 \text{ m/s}$$

↪ Cálculo da potência necessária da turbina

Como neste caso não existe uma necessidade energética para consumo próprio, pois trata-se de um sistema ligado à rede, apenas iremos necessitar do valor de $V(Z)$

↪ Cálculo da potência produzida anualmente

Na curva de potência do aerogerador verifica-se a potência nominal, a velocidade de arranque e a velocidade máxima na qual o aerogerador começa a perder característica. Através da curva de potencia e recorrendo à distribuição da velocidade do vento através da distribuição de Rayleigh é possível determinar a energia obtida anualmente:

$$E_{anual} (kWh) = 8760 \times \sum_{cut-in}^{cut-out} P(u) \times f(u)$$

Onde:

$$cut-in = 3,5m / s \quad cut-out = 14m / s$$

Como não é dado na ficha de características do aerogerador o valor de CP, o valor considerado foi 0,35

$$CP = 0,35$$

$$P(u) = \frac{1}{2} \times A \times \rho \times u^3 \times C_p$$

$$f(u) = \frac{\pi}{2} \times \frac{u}{u_{ma}^2} e^{-\frac{\pi}{4} \left(\frac{u}{u_{ma}} \right)^2} \quad u \geq 0$$

Substituindo as formulas de P(u) e f(U) na formula da energia anual obtém-se o seguinte:

$$E_{anual} (kWh) = 8760 \times \sum_{cut-in}^{cut-out} \left(\frac{1}{2} \times A \times \rho \times u^3 \times C_p \right) \times \left(\frac{\pi}{2} \times \frac{u}{u_{ma}^2} e^{-\frac{\pi}{4} \left(\frac{u}{u_{ma}} \right)^2} \right)$$

Realizando o somatório compreendido entre as velocidades de *cut-in* e *cut-out* a energia produzida anualmente é de 5393,78 kWh/ano

↳ Dimensionamento do Rectificador

A partir da ficha de características do aerogerador, sabemos a o valor de $U_{DC\ MAX}$ que é 120V então vamos calcular o valor da corrente máxima do regulador eólico.

$$P_{MAX} = 1500W ; U_{DC\ MAX} = 120V$$

$$I_{MAX.DC} = \frac{P_{MAX}}{U_{DC\ MAX}} \Leftrightarrow I_{MAX.DC} = \frac{1500}{120}$$

$$I_{MAX.DC} = 12,5A$$

A corrente máxima do regulador será de 12,5 A

↳ Dimensionamento do Inversor

O lado DC do circuito deve incluir um disjuntor de acordo com a norma DIV VDE 0100-712, na qual seja permitido a desconexão do gerador ao inversor. A partir do cálculo atrás efectuado, determinamos que o disjuntor será tripolar de 16^a

Tendo em conta o que foi dito no ponto 3.4.8 vamos calcular a potência do inversor a colocar no sistema:

O intervalo de potencia deverá estar entre:

$$0,7 \times P_{eolica} < P_{InvDC} < 1,2 \times P_{eolica} \Leftrightarrow$$

$$0,7 \times 1500 < P_{InvDC} < 1,2 \times 1500 \Leftrightarrow$$

$$1050 < P_{InvDC} < 1800$$

Através deste cálculo e após a consulta ao fabricante de Inversores SMA vamos considerar o inversor modelo Windy Boy 1700.

Características técnicas do inversor Windy Boy 1700:

- ↪ Potencia nominal AC máxima (W) – 1850
- ↪ ESS – Electronic Solar Switch (desliga em DC quando não há tensão em AC).
Este factor é importante pois o inversor funciona à base de “clock” da rede eléctrica nacional.
- ↪ Tensão máxima de entrada CC (V) – 400
- ↪ Intervalo de tensão CC MPP (V) – 100/400
- ↪ Corrente de entrada máxima CC (A) – 12,6
- ↪ Consumo stand-by (W) – 0,1
- ↪ Rendimento europeu máximo (%) – 91,8
- ↪ IP 65
- ↪ Temperatura de funcionamento (°C) -25°C+60°C
- ↪ Dimensões L x A x C (mm) – 434 x 295 x 214
- ↪ Peso (Kg) – 25
- ↪ Garantia do fabricante – 5 anos

Como o inversor escolhido possui na saída um transformador, este não necessitará de uma diferença de 30mA na saída.

Como a saída do aerogerador é trifásica, temos de considerar 1 inversor para cada fase, ou seja neste caso serão necessários 3 inversores.

É recomendável a utilização de um interruptor de circuito de sobrecarga de 16A como fusível do circuito (figura 29)

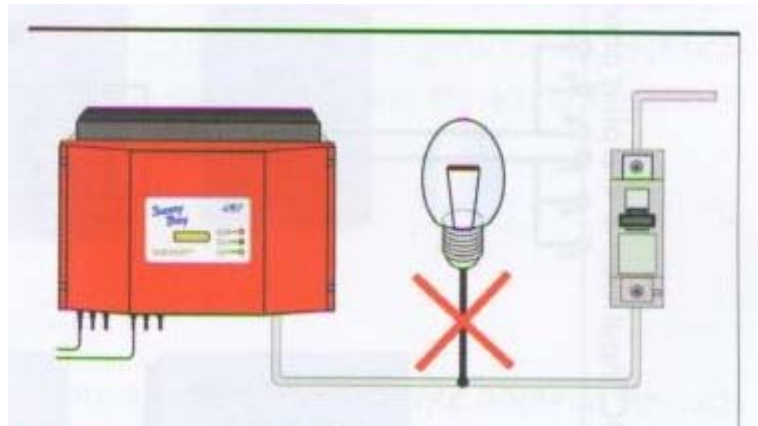


Figura 29 - Interruptor de circuito de sobrecarga de 16A (AG, SMA Solar Technology, 2010)

↳ Dimensionamento de cabos DC e AC

Cabos AC do aerogerador ao rectificador

Não se vai calcular o tipo de cabo para esta ligação, pelo facto de este ser fornecido com o aerogerador.

Cabos de ligação do rectificador ao inversor

O cabo principal DC estabelece neste caso a ligação entre o rectificador e o inversor. Vamos considerar a caixa de junção do gerador no exterior, o referido cabo deve ser entubado de modo a garantir a protecção contra os raios UV.

Para calcularmos a secção do cabo vamos utilizar a fórmula:

Onde:

$$\Rightarrow L_{DC} = 6m$$

$$\Rightarrow I_{DC} = 12,5A$$

$$\Rightarrow U_{DC} = 120V$$

$$\Rightarrow \sigma = 56m / \Omega mm^2$$

Então:

$$S_{DC} (mm^2) = \frac{2 \times L_{DC} \times I_{DC}}{1\% \times U_{DC} \times \sigma} \Leftrightarrow S_{DC} (mm^2) = \frac{2 \times 6 \times 12,5}{1\% \times 120 \times 56} \Leftrightarrow$$

$$S_{DC} (mm^2) = 2,32 mm^2$$

Normalizado o valor da secção o valor a considerar será de 2,5mm².

O cabo a considerar será do tipo da figura 30.



Figura 30 - Tipo de cabo DC a utilizar entre o rectificador e o inversor (AG, SMA Solar Technology, 2010)

Cabos de ligação do inversor à rede receptora (portinhola)

Para Calcular a secção do cabo que liga o inversor

$$I_{AC} = I_B \Leftrightarrow I_{AC} = \frac{P_{INV}}{U_{AC}} \Leftrightarrow I_{AC} = \frac{1850}{230} \Leftrightarrow I_{AC} = 8,04 A$$

A secção do condutor a considerar será de 6mm² que é o valor mínimo exigido nas RTIEBT. O tipo de cabo a utilizar poderá ser o VV 2 x 6mm²

Material a considerar para realizar a Instalação:

- ↳ Aerogerador JBornay 1500;
- ↳ Torre 6m de altura útil;
- ↳ Rectificador de Tensão ECM2503ME/120;
- ↳ Kit de fixação da torre;
- ↳ Caixa de junção e kit de Cabos Jbox/1700;
- ↳ Interruptor AC 16 A com Bloqueio LAC16/1700;
- ↳ Inversor SMA Windy Boy 1700;
- ↳ Contador de energia aprovado pela EDP
- ↳ Sistema de comunicação para telecontagem

Anexo 2 - Características técnicas de alguns micro-aerogeradores existentes no mercado

Fabricante	Modelo	Tipo gerador	Pn (kW)	Diâmetro (m)	Eixo
AEROSTAR	6METER	Assíncrono	10	6	Horizontal
AIRDOLPHIN	Z1000	PMSG	1	1,8	Horizontal
BERGEY	XL.1	PMSG	1	2,5	Horizontal
FORTIS	ESPADA	PMSG	0,8	2,2	Horizontal
FORTIS	PASSAAT	PMSG	1,4	3,12	Horizontal
FORTIS	MONTANA	PMSG	5	5	Horizontal
FORTIS	ALIZE	PMSG	10	7	Horizontal
ISKRA	Krestel1kW	PMSG	1	3	Horizontal
ISKRA	AT5-1	PMSG	5	5,4	Horizontal
JBORNAY	Bornay250	PMSG	0,25	1,35	Horizontal
JBORNAY	Bornay600	PMSG	0,6	2	Horizontal
JBORNAY	Bornay1500	PMSG	1,5	2,8	Horizontal
JBORNAY	Bornay3000	PMSG	3	3,7	Horizontal
JBORNAY	Bornay6000	PMSG	6	3,7	Horizontal
PROVEN	WT600	PMSG	0,6	2,55	Horizontal
PROVEN	WT2500	PMSG	2,5	3,5	Horizontal
PROVEN	WT6000	PMSG	6	5,5	Horizontal
PROVEN	WT15000	PMSG	15	9	Horizontal
ROPATEC	WRE.007	PMSG	0,75	1,5	Vertical
ROPATEC	WRE.015	PMSG	1,5	1,5	Vertical
ROPATEC	WRE.030	PMSG	3	3,3	Vertical
ROPATEC	WRE.060	PMSG	6	3,3	Vertical
ROPATEC	BIGSTAR	PMSG	20	4,3	Vertical

SEGEN	Skystream3,7	PMSG	1,8	3,7	Horizontal
SEGEN	Westwind10	PMSG	10	6,2	Horizontal
SEGEN	Westwind20	PMSG	20	10,4	Horizontal
WINDELECTRIC	WE-1000	Assíncrono	1	2,2	Horizontal
WINDELECTRIC	WE1500	Assíncrono	1,5	3,4	Horizontal
WINDELECTRIC	WE-8000	Assíncrono	8	6,8	Horizontal
WINDELECTRIC	WE-20000	Assíncrono	20	11	Horizontal
WINDSIDE	WS-0,30C	PMSG	0,108	0,3	Vertical
WINDSIDE	WS-0,30A	PMSG	0,108	0,3	Vertical
WINDSIDE	WS-4C	PMSG	0,24	1,02	Vertical
WINDSIDE	WS-4A	PMSG	0,24	1	Vertical
WINDSIDE	WS-0,15C/B	PMSG	0,108	0,334	Vertical
WINDSIDE	WS-2B	PMSG	0,24	1,02	Vertical
WINDMISSION	WWINDFLOWER	Assíncrono	1	2,7	Horizontal
SOUTHWEST WINDPOWER	Whisper100		0,9	2,1	Horizontal
SOUTHWEST WINDPOWER	Whisper200		1	2,7	Horizontal
SOUTHWEST WINDPOWER	Whisper500		3	4,5	Horizontal
TURBY	VAWT2500	PMSG	2,5	2	Vertical
ZENIT	2000	PMSG	2	3,6	Horizontal
ZENIT	5000	PMSG	5	6,4	Horizontal
ZENIT	10000	PMSG	10	8	Horizontal
ZENIT	20000	PMSG	20	12	Horizontal
ZENIT	200	PMSG	0,2	2,1	Horizontal
ZENIT	300	PMSG	0,3	2,5	Horizontal
ZENIT	400	PMSG	0,4	1,4	Horizontal
ZENIT	500	PMSG	0,5	2,7	Horizontal
ZENIT	1000	PMSG	1	3	Horizontal